



TUGAS AKHIR–RC14-1501

**STUDI KAPASITAS ANGKUT DAN GERUSAN
LOKAL PADA PENAMPANG SUNGAI BRANTAS
AKIBAT PILAR JEMBATAN TOL MOJOKERTO-
KERTOSONO**

AISYAH AMELIA
NRP 3113 100 028

Dosen Pembimbing I
Dr.techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc.

Dosen Pembimbing II
Ir. Bambang Sarwono, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR–RC14-1501

**STUDI KAPASITAS ANGKUT DAN GERUSAN
LOKAL PADA PENAMPANG SUNGAI BRANTAS
AKIBAT PILAR JEMBATAN TOL MOJOKERTO-
KERTOSONO**

AISYAH AMELIA
NRP 3113 100 028

Dosen Pembimbing I
Dr.techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc.

Dosen Pembimbing II
Ir. Bambang Sarwono, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT–RC14-1501

**STUDY OF TRANSPORT CAPACITY AND
LOCAL SCOURING AT BRANTAS RIVER'S
CROSS SECTION DUE TO MOJOKERTO-
KERTOSONO TOLL BRIDGE'S PIERS**

AISYAH AMELIA
NRP 3113 100 028

Supervisor I
Dr.techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc.

Supervisor II
Ir. Bambang Sarwono, M.Sc.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI KAPASITAS ANGKUT DAN GERUSAN LOKAL PADA PENAMPANG SUNGAI BRANTAS AKIBAT PILAR JEMBATAN TOL MOJOKERTO KERTOSONO

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Hidroteknik
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

AISYAH AMELIA
NRP. 3113 100 028

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Dr.techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc. ()
NIP. 197212021998021001

Ir. Bambang Sarwono, M.Sc. ()
NIP. 195303021987011001

SURABAYA
Juli 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan.

STUDI KAPASITAS ANGKUT DAN GERUSAN LOKAL PADA PENAMPANG SUNGAI BRANTAS AKIBAT PILAR JEMBATAN TOL MOJOKERTO- KERTOSONO

Nama Mahasiswa : Aisyah Amelia
NRP : 3113100028
Departemen : Teknik Sipil – FTSP ITS
**Dosen Pembimbing : 1. Dr.techn. Umboro Lasminto, S.T.,
M.Sc.**
2. Ir. Bambang Sarwono, M.Sc.

Abstrak

Jalan tol Mojokerto-Kertosono melintasi sungai Brantas di Kecamatan Gedeg, Mojokerto, untuk itu dibutuhkan jembatan sepanjang 299 m. Konstruksi jembatan tersebut berpotensi mengakibatkan terjadinya gerusan lokal pada dasar sungai maupun perubahan morfologi sungai. Oleh sebab itu perlu dilakukan studi kapasitas angkut dan gerusan lokal pada penampang sungai akibat pilar jembatan.

Pada tugas akhir ini, dilakukan perhitungan debit rencana dengan metode Gumbel. Dalam analisa gerusan lokal digunakan modul Hydraulic Design – Bridge Scour pada program Hec-Ras 5.0.3 untuk memprediksi kedalaman gerusan. Sedangkan analisa angkutan sedimen dihitung dengan permodelan sedimen pada program Hec-Ras 5.0.3.

Hasil studi ini menghasilkan debit banjir rencana di sungai Brantas untuk 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun secara berturut-turut adalah 1.213,58 m³/dt, 1.444,48 m³/dt, 1.597,36 m³/dt, 1.790,53 m³/dt, 1.933,83 m³/dt, 2.076,07 m³/dt. Akibat dari contraction scour atau penyempitan sungai sebelum dibangun jembatan, pada debit 100 tahun terjadi gerusan sedalam 0,47 m di bagian kanan penampang sungai. Sedangkan setelah dibangun jembatan, diperkirakan gerusan akibat contraction scour dan pilar menjadi 7,4 m, kedalaman ini

mendekati hitungan analitik sebesar 8,07 m. Volume angkutan sedimen kumulatif sebelum ada jembatan adalah 386.551 m³ dan penurunan dasar sungai rata-rata sebesar 1,03 m. Sedangkan setelah ada jembatan, volume angkutan sedimen kumulatif yang terangkut adalah 569.775 m³ dengan penurunan dasar sungai rata-rata sebesar 1,51 m.

Kata kunci: Angkutan sedimen, Gerusan Lokal, Morfologi, Sungai Brantas

STUDY OF TRANSPORT CAPACITY AND LOCAL SCOURING AT BRANTAS RIVER'S CROSS SECTION DUE TO MOJOKERTO-KERTOSONO TOLL BRIDGE'S PIERS

Name : Aisyah Amelia
NRP : 3113100028
Department : Civil Engineering – FTSP ITS
Supervisor : 1. Dr.techn. Umboro Lasminto, S.T.,
M.Sc.
2. Ir. Bambang Sarwono, M.Sc.

Abstract

The Mojokerto-Kertosono toll road is crossing Brantas River in Gedeg sub-district, Mojokerto, so the bridge along the 299 m is required. The bridge construction has potential to cause local scouring at river bed and also the changes in river morphology. Therefore, it is necessary to study the transport capacity and local scour at the river cross section due to the bridge piers.

In this final project, the calculation of the flood discharge design used the Gumbel method. In the local scour analysis used the Hydraulic Design – Bridge Scoure module in the Hec-Ras 5.0.3 program to predict the scour depth. While the sediment transport analysis was calculated by sediment modeling in the Hec-Ras 5.0.3 program.

The results of this study obtained flood discharge designs in Brantas river for 2 years, 5 years, 10 years, 25 years, 50 years, and 100 years respectively were 1,213.58 m³/s, 1,444.48 m³/s, 1,597. 36 m³/s, 1,790.53 m³/s, 1,933.83 m³/s, 2,076.07 m³/s. The effect from the contraction scour before the bridge was built with 100 years discharge design is 0.47 m deep scour that occurred on the right side of the river cross section. Meanwhile, after the bridge was built, it is estimated that scouring due to contraction scour and piers become 7.4 m, this depth is approach the analytical result

which is 8.07 m. The cumulative sediment transport volume before the bridge was built is 386,551 m³ and the average of river bed lowering is 1.03 m. Whereas after the bridge was built, the cumulative transport volume of sediment that transported is 569,775 m³ with the average of river bed lowering is 1.51m.

Keywords: Brantas river, Local ccour, Morphology, Sediment transport

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya lah Tugas akhir ini dapat diselesaikan tepat waktu. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu selama proses pembuatan tugas akhir ini:

1. Bapak Dr.techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang dengan sangat sabar membimbing dan mengarahkan dalam pembuatan tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Bambang Sarwono, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang dengan sangat sabar membimbing dan memberikan saran-saran pada penulisan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc. dan Bapak Mohamad Bagus Ansori, S.T., M.T. selaku dosen penguji tugas akhir yang memberikan masukan dalam penyempurnaan penyajian laporan tugas akhir ini.
4. Dosen-dosen Departemen Teknik Sipil ITS yang telah memberikan ilmu pengetahuan dalam bidang ketekniksipil selama penulis berkuliah di ITS.
5. Sahabatku, Nafis, yang selalu kurepotkan selama proses pembuatan tugas akhir hingga hari-H seminar. Juga sahabat-sahabatku yang selalu mengingatkan untuk segera menyelesaikan Tugas Akhir ini; Randa, Kak Fitri, Fath, Dilla, Anna.
6. Abang tersayang yang selalu memberikan dukungan dan menemani bergadang selama beberapa malam.
7. Kedua orang tuaku, Bapak dan Mama, dan keluargaku di Banjarmasin yang selalu tanpa jeda mendoakan kelancaran studi Yaya di Surabaya.

8. Teman-teman Teknik Sipil 2013 lainnya yang memberikan saran dan semangat dalam pembuatan tugas akhir ini.
9. Keluarga Besar, sahabat-sahabatku dari SMP; Anita, Ana, Selfi, Husnul, Amel, Rifaldi, dan Hasan yang memberikan semangat dan doa dalam pembuatan tugas akhir ini.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis mengetahui bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat dibutuhkan untuk penulisan yang lebih baik di kemudian hari. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	3
1.6 Lokasi Studi	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Daerah Aliran Sungai.....	5
2.2 Tipe Sungai	7
2.2.1 Berdasarkan aliran	7
2.2.2 Berdasarkan umur atau genetik	7
2.2.3 Berdasarkan sistem	8
2.3 Hidrolika Sungai	9
2.3.1 Jenis Aliran	9
2.3.2 Tegangan Geser Dasar Aliran dan Kecepatan Geser	12

2.3.3 Klasifikasi Lapisan Aliran	14
2.4 Transportasi Sedimen	15
2.4.1 Awal Gerak Butiran	16
2.4.2 Persamaan Angkutan Sedimen	18
2.4.3 Kurva Distribusi Ukuran Butiran	22
2.4.4 Degradasi	23
2.4.5 Agradasi	24
2.5 Gerusan	24
2.5.1 Jenis-jenis Gerusan	24
2.5.2 Gerusan pada Pilar Jembatan	25
2.5.3 Persamaan Gerusan Lokal pada Pilar	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1 Studi Lapangan dan Studi Literatur	33
3.2 Pengumpulan Data	33
3.3 Analisis Data dan Perhitungan	34
3.3.1 Analisa Hidrologi	34
3.3.2 Analisa Angkutan Sedimen dan Gerusan	34
3.4 Bagan Alir	34
BAB IV PEMBAHASAN	37
4.1 Analisa Hidrologi	37
4.2 Analisa Hidrolika	39
4.3 Analisa Gerusan di Sekitar Pilar	51
4.3.1 Permodelan Gerusan pada Hec-Ras	51
4.3.2 Permodelan Kondisi Sebelum Ada Jembatan	51

4.3.3 Permodelan Kondisi Sesudah Ada Jembatan.....	56
4.3.2 Analisa Angkutan Sedimen Antara Dua Penampang Sungai	61
4.3.3 Perhitungan Analitik Gerusan pada Pilar.....	64
4.4 Analisa Angkutan Sedimen.....	65
4.4.1 Permodelan Angkutan Sedimen pada Hec-Ras	65
4.4.2 Perhitungan Analitik Konsentrasi Angkutan Sedimen	75
BAB 5 KESIMPULAN	79
DAFTAR PUSTAKA.....	81
LAMPIRAN	83

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Lokasi Jembatan Tol Mojokerto-Kertosono	3
 Gambar 2. 1 Tingkat Aliran Saluran	5
Gambar 2. 2 Corak DAS	6
Gambar 2. 3 Diagram Shield Meperlihatkan θ_c sebagai Fungsi Re	17
Gambar 2. 4 Diagram Gaya-gaya yang Bekerja pada Butiran di Saluran Terbuka	18
Gambar 2. 5 Definisi dari D_{75} , D_{60} , D_{30} , D_{25} dan D_{10}	22
Gambar 2. 6 Macam-macam Tipe Kurva Distribusi Ukuran Butiran	23
Gambar 2. 7 Bentuk-bentuk Ujung Pilar	26
Gambar 2. 8 Pola Gerusan pada Pilar Silinder	26
Gambar 2. 9 Bentuk Gerusan terhadap Posisi Pilar	27
Gambar 2. 10 Grafik Faktor Posisi K_α untuk Pilar Yang Tidak Sejajar Aliran (Laursen dan Toch, 1956)	27
Gambar 2. 11 Hubungan η^3 dan θ	30
Gambar 2. 12 Grafik Hubungan Material Dasar, Kecepatan dan Kedalaman (Neil, 1973)	32
 Gambar 3. 1 Bagan Alir Studi	35
 Gambar 4. 1 Layar Utama Program Hec-Ras 5.0.3	40
Gambar 4. 2 Tampilan untuk Membuat Pekerjaan Baru	40
Gambar 4. 3 Tampilan saat Mengganti Unit Satuan	41
Gambar 4. 4 Skema Aliran Sungai	41
Gambar 4. 5 Tampilan untuk Memasukkan Data Potongan Melintang Sungai	42
Gambar 4. 6 Tampilan Skema Geometri Seluruh Penampang	43
Gambar 4. 7 Memasukkan Data Deck Jembatan Pagerluyung ...	44

Gambar 4. 8 Data Salah Satu Pilar Jembatan Pagerluyung	45
Gambar 4. 9 Permodelan Jembatan Pagerluyung	46
Gambar 4. 10 Memasukkan Data Deck Jembatan Tol Moker.....	47
Gambar 4. 11 Memasukkan Data Pilar Jembatan Tol Moker	47
Gambar 4. 12 Permodelan Jembatan Tol Mojokerto-Kertosono.	48
Gambar 4. 13 Memasukkan Data Debit	49
Gambar 4. 14 Kondisi Batas untuk Hilir	49
Gambar 4. 15 Tampilan untuk Running Program	50
Gambar 4. 16 Tampilan Running Selesai Dilakukan	50
Gambar 4. 17 Memasukkan Data Contraction	51
Gambar 4. 18 Menghitung Koefisien K1	52
Gambar 4. 19 Tampilan Hasil Analisa Scouring.....	52
Gambar 4. 20 Contraction Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 2 Tahun	53
Gambar 4. 21 Contraction Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 5 Tahun	53
Gambar 4. 22 Contraction Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 10 Tahun	54
Gambar 4. 23 Contraction Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 25 Tahun	54
Gambar 4. 24 Contraction Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 50 Tahun	55
Gambar 4. 25 Contraction Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 100 Tahun	55
Gambar 4. 26 Memasukkan Data untuk Pilar.....	57
Gambar 4. 27 Total Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 2 Tahun.....	58
Gambar 4. 28 Total Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 5 Tahun.....	58
Gambar 4. 29 Total Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 10 Tahun.....	59
Gambar 4. 30 Total Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 25 Tahun.....	59

Gambar 4. 31 Total Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 50 Tahun.....	60
Gambar 4. 32 Total Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 100 Tahun.....	60
Gambar 4. 33 Menentukan Batas Hulu dan Hilir	66
Gambar 4. 34 Data Flow Series.....	67
Gambar 4. 35 Hidrograf dari Data Flow Series.....	68
Gambar 4. 36 Memasukkan Data Temperatur	68
Gambar 4. 37 Memasukkan Data Gradasi Sedimen.....	69
Gambar 4. 38 Menentukan Batas Hulu	70
Gambar 4. 39 Tampilan Sediment Data Editor	70
Gambar 4. 40 Menjalankan Analisis Angkutan Sedimen	72
Gambar 4. 41 Hasil Analisa Angkutan Sedimen pada Profil Memanjang.....	73
Gambar 4. 42 Perubahan Dasar Sungai Sebelum Ada Jembatan	74
Gambar 4. 43 Perubahan Dasar Sungai Setelah Ada Jembatan ..	74
Gambar 4. 44 Grafik Perbandingan Analisa Hec-ras dan Analitik	78

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Koreksi Bentuk Pilar Jembatan	26
Tabel 2. 2 Faktor Lempung Lacey Berdasar Tanah	28
Tabel 2. 3 Kedalaman Gerusan	29
Tabel 2. 4 Nilai η_1 dan n untuk Berbagai Diameter Butiran Sedimen.....	30
Tabel 2. 5 Pengaruh Bentuk Pier Nose terhadap Gerusan.....	31
Tabel 4. 1 Debit Maksimum di Setiap Tahun.....	38
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Debit Rencana Periode Ulang.....	39
Tabel 4. 3 Kedalaman Contraction Scouring terhadap Debit Periode Ulang pada Permodelan Hec-Ras.....	56
Tabel 4. 4 Kedalaman Scouring terhadap Debit Periode Ulang pada Permodelan Hec-Ras	61
Tabel 4. 5 Hasil Analisa Angkutan Sedimen dengan Debit 100 tahun	62
Tabel 4. 6 Perhitungan Gerusan dengan Analitik.....	65
Tabel 4. 7 Perbandingan simulasi Hec-Ras dan Analitik	77

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ekonomi dan teknologi mengalami kemajuan yang sangat pesat, hal ini menyebabkan adanya tuntutan-tuntutan untuk mempercepat pemenuhan infrastruktur sebagai penunjang kegiatan manusia, salah satunya jembatan. Jembatan merupakan prasarana transportasi yang berfungsi untuk memperlancar perpindahan barang dan manusia dari satu tempat ke tempat lainnya. Jembatan menghubungkan daerah-daerah yang terpisah karena adanya rintangan, seperti selat, sungai, atau jalan raya. Tol Mojokerto-Kertosono merupakan bagian dari proyek *Trans Java Tollway System* yang dimulai dari barat pulau Jawa tepatnya di Merak, Jawa Barat hingga Ketapang, Jawa Timur. Di Kecamatan Gedeg, Mojokerto, alinemen jalan tol ini melintang di atas Sungai Brantas sepanjang 299 m.

Adanya penghalang seperti bangunan bawah jembatan dapat menyebabkan perubahan pada morfologi sungai berupa aggradasi atau degradasi sedimen. Jika terjadi aggradasi, dasar sungai akan mengalami pendangkalan dan tinggi bebas antara muka air sungai dengan bagian bawah jembatan juga berkurang. Jika terjadi degradasi, maka erosi dasar sungai akan mengakibatkan sungai semakin dalam, erosi tebing yang mengakibatkan sungai semakin lebar, sehingga menyebabkan terjadinya deposisi meander sungai. Selain itu, perubahan pola aliran yang disebabkan oleh adanya pilar dan abutment juga dapat mengakibatkan keseimbangan material dasar sungai terganggu. Sedimen yang terus-menerus mengendap dapat menyebabkan banjir karena kapasitas tampungan sungai yang berkurang, sedangkan sedimen yang terus-menerus terkikis akibat bertambahnya kecepatan aliran akan membuat struktur jembatan yang berada di atasnya menjadi tidak stabil.

Oleh karena itu, dibutuhkan analisa sedimen terhadap morfologi sungai dan analisa *scouring* pada penampang jembatan terhadap aliran sungai untuk mengetahui seberapa besar pengaruh yang terjadi akibat adanya jembatan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang tersebut di atas, rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa debit aliran rencana di sungai Brantas di sekitar lokasi jembatan?
2. Berapa angkutan sedimen di penampang sungai sekitar jembatan?
3. Bagaimana pengaruh pilar jembatan pada angkutan sedimen di penampang sungai sekitar jembatan?
4. Apakah pilar jembatan menyebabkan gerusan lokal?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Pola aliran dianalisa sebagai *steady flow*.
2. Objek penelitian adalah dasar sungai Brantas yang dilintasi oleh Jembatan Tol Mojokerto - Kertosono.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui besar debit aliran rencana di sungai Brantas di sekitar lokasi jembatan.
2. Mengetahui besar angkutan sedimen di penampang sungai sekitar jembatan.
3. Mengetahui pengaruh pilar jembatan pada angkutan sedimen di penampang sungai sekitar jembatan.
4. Mengetahui apakah pilar jembatan menyebabkan terjadinya gerusan lokal.

1.5 Manfaat

Manfaat yang ingin dicapai dalam penulisan tugas akhir ini adalah dapat memberikan manfaat dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang hidrolika yang berkaitan dengan morfologi sungai dan gerusan lokal.

1.6 Lokasi Studi

Lokasi studi yang akan dianalisa dalam tugas akhir ini adalah sungai yang dilintasi oleh Jembatan Tol Mojokerto-Kertosono dan sekitarnya sepanjang 1,63 km, seperti yang terlihat pada Gambar 1.1 berikut.



Gambar 1. 1 Lokasi Jembatan Tol Mojokerto-Kertosono

Sumber: Google Maps 2016

Untuk potongan melintang desain jembatan, dapat dilihat pada lampiran 4.

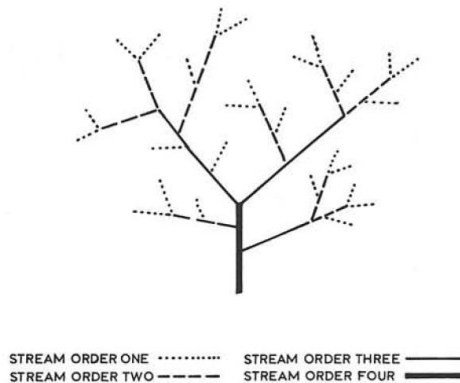
Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

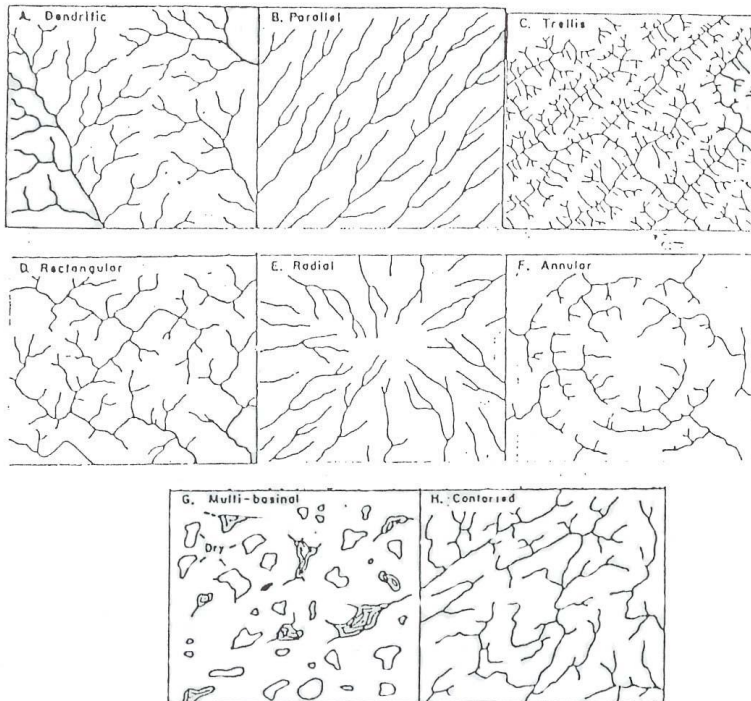
2.1 Daerah Aliran Sungai

Daerah aliran sungai merupakan suatu luasan di mana aliran permukaan di luasan tersebut mengalir menuju suatu titik konsentrasi tertentu. Setiap anak sungai dan ruas sungai mempunyai hirarki tersendiri yang dinamakan tingkat aliran (*stream order*) seperti yang terlihat pada Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2. 1 Tingkat Aliran Saluran
Sumber: Principles of River Engineering, hal. 12

Corak DAS tergantung pada kondisi geologinya, seperti pada Gambar 2. 2 yang menunjukkan macam-macam jenis corak daerah aliran sungai.



Gambar 2. 2 Corak DAS
Sumber: Modul Teknik Sungai, hal. 14

- a. ***Dendritic***, terdapat pada daerah cadas (*rock*) di mana resistan terhadap erosi seragam, kemiringan medan sedang
- b. ***Parallel***, terdapat pada daerah yang kemiringan medannya curam
- c. ***Trellis***, terdapat pada daerah lipatan (*folded*) cadas dengan batas catchment area terbentuk sepanjang daerah cadas yang resistan dan lembah yang terdiri dari batuan cadas yang erosi.

- d. **Rectangular**, terdapat pada daerah di mana *joints* dan patahan (*fault*) berpotongan pada sudut siku-siku.
- e. **Radial**, terdapat menyisi pada daerah perbukitan dan daerah volkano dimana tidak ada efek perbedaan resistansi cadas.
- f. **Annular**, terdapat pada daerah perbukitan yang resistan membentuk batas catchment, dan cadas yang lemah membentuk lembah.
- g. **Multi basinal**, terdapat pada daerah di mana pola asli sistem drainase dihancurkan oleh aliran glacial, aliran lahar baru atau peleburan batu kapur.
- h. **Contorted**, terdapat pada daerah dengan kondisi geologi yang kompleks di mana *dike veins*, patahan (*faults*) atau cadas metamorf mengontrol pola drainase.

2.2 Tipe Sungai

2.2.1 Berdasarkan aliran

Ada tiga tipe sungai berdasarkan pola alirannya, yaitu:

- a. **Sungai perenial**, yaitu sungai yang berair sepanjang tahun karena muka air tanah lebih tinggi dari dasar sungai.
- b. **Sungai intermitten**, sungai berair saat muka air tanah lebih tinggi dari dasar sungai, dan tak berair bila muka air tanah lebih rendah dari dasar sungai
- c. **Sungai ephemeral**, sungai hanya berair saat hujan saja, karena muka air tanah selalu berada di bawah dasar sungai.

2.2.2 Berdasarkan umur atau genetik

Sungai dapat diklasifikasikan berdasar perkembangan proses erosi:

- a. **Sungai muda (youthfull)**, terdapat di pegunungan, penampang berbentuk V tidak beraturan, berarus deras, banyak terjadi erosi, seperti halnya sungaisungai yang

berada di daerah pegunungan. Anak-anak sungai terbentuk oleh aliran permukaan (*overland flow*).

- b. **Sungai dewasa (*mature*)**, penampang sungai dan lembah sungai lebih lebar, kemiringan lebih landai, erosi ke arah tebing lebih banyak dibanding erosi dasar, terdapat pola meander. Energi sungai cukup untuk mengangkut sedimen. Lembah sungai yang luas baik untuk pengembangan pertanian dan pemukiman. Namun demikian bagian sungai ini merupakan obyek pekerjaan stabilisasi dan perbaikan sungai untuk mengatasi perubahan/migrasi sungai.
- c. **Sungai tua (*old*)**, penampang sungai lebih lebar, kemiringan lebih landai, terdapat meander dan meander belt. Terbentuk tanggul alam sepanjang sungai. Pada daerah-daerah rendah dekat sungai terbentuk rawa-rawa. Anak-anak sungai tumbuh paralel dengan sungai utama cukup panjang sebelum pertemuan sungai. Lembah sungai subur, namun diperlukan perbaikan sungai, tanggul, *revetment* (pengsengan) untuk mengamankan daerah sekitarnya dari luapan banjir.

2.2.3 Berdasarkan sistem

Bentuk sungai sering dikategorikan sebagai *meandering* atau *braided*.

- a. *Braiding* ditandai oleh sedimen yang relatif tinggi, perbedaan kemiringan yang relatif tinggi, aliran atau arus yang bervariasi, dan lereng atau tebing tidak stabil, kurang bervegetasi.
- b. *Meandering* sebaliknya.

2.3 Hidrolika Sungai

Aliran seragam dalam saluran terbuka.

2.3.1 Jenis Aliran

1. Aliran laminar dan turbulen

Aliran laminar, terjadi pada zat cair dengan kecepatan relatif rendah. Tegangan geser dinyatakan dengan hukum kekentalan Newton.

$$\tau_v = \rho \nu \frac{dv}{dz} \dots\dots\dots (2.1)$$

Di mana:

ρ = rapat masa air

ν = viskositas kinematis ($10^{-6} \text{ m}^2/\text{dt}$)

τ_v = tegangan geser viskus

Aliran turbulen, terjadi karena kondisi ketidakstabilan dalam aliran. Fenomena aliran turbulen adalah fluktuasi dari kecepatan yakni;

$$V = v + v' \dots\dots\dots (2.2)$$

$$W = w + w' \dots\dots\dots (2.3)$$

Di mana;

V, W = kecepatan sebarang dalam arah sb x dan y

v, w = kecepatan rata-rata terhadap waktu dalam arah sb.x dan y

v', w' = fluktuasi kecepatan sebarang dalam arah sb.x dan y

Dalam aliran turbulen, partikel air bergerak sangat tidak beraturan. Tegangan geser turbulen, berdasarkan persamaan Navier-Stoke:

$$\tau_t = -\rho \cdot \overline{v'w'} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

Di mana:

ρ = rapat masa air dan

ν = viskositas kinematis ($10^{-6} \text{ m}^2/\text{dt}$)

τ_t = tegangan geser turbulent

Pada aliran turbulen viskositas dan turbulensi berkontribusi dalam tegangan geser, sehingga tegangan geser total

$$\tau = \tau_v + \tau_t = \rho \nu \frac{dv}{dz} + \left(-\rho \overline{v'w'} \right) \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

2. Aliran *steady* dan *unsteady*

Aliran *steady*, jika sifat-sifat aliran konstan pada setiap titik atau tempat tidak tergantung waktu.

$$\frac{\partial V}{\partial t} = 0$$

Aliran *unsteady*, jika sifat-sifat aliran tidak tetap pada setiap titik atau tempat tergantung waktu.

$$\frac{\partial V}{\partial t} \neq 0$$

3. Aliran seragam (*uniform*) dan tidak seragam (*non-uniform*)

Aliran seragam, jika kecepatan aliran disepanjang saluran adalah tetap, dalam hal kecepatan aliran tidak tergantung pada tempat atau tidak berubah menurut tempatnya.

$$\frac{\partial V}{\partial x} = 0$$

Aliran tidak seragam, jika kecepatan aliran di sepanjang saluran adalah tidak tetap, dalam hal kecepatan aliran tergantung pada tempat atau berubah menurut tempatnya.

$$\frac{\partial V}{\partial x} \neq 0$$

4. Lapisan batas aliran

Prandtl mengembangkan konsep lapisan batas, yang memperlihatkan hubungan penting antara aliran fluida ideal dengan aliran fluida sebenarnya. Zat cair yang mempunyai viskositas kecil, efek gesekan dalam aliran hanya ada dalam suatu lapisan tipis sekitar batas-batas aliran. Tebal lapisan batas (δ) adalah jarak dari permukaan batas sampai pada titik di mana $v = 0,995 V$. Lapisan batas dinyatakan:

Aliran laminar

$$\frac{\delta}{x} = 5 \left(\frac{V \cdot x}{\nu} \right)^{-0,5}$$

Jika R_{ex}

$$R_{e_x} = \frac{V \cdot x}{\nu} < 5 \times 10^5$$

Aliran turbulen

$$\frac{\delta}{x} = 0,4 \left(\frac{V \cdot x}{\nu} \right)^{-0,2}$$

Jika R_{ex}

$$R_{e_x} = \frac{V \cdot x}{\nu} > 5 \times 10^5$$

2.3.2 Tegangan Geser Dasar Aliran dan Kecepatan Geser

1. Tegangan geser fluida atau dasar saluran

Gaya pada elemen fluida, aliran seragam, sehingga keseimbangan gaya dalam arah-x.

$$\tau_z \cdot \Delta x = \rho g (h - z) \cdot \Delta x \cdot \sin \beta$$

Untuk kemiringan kecil, sehingga $\sin \beta \approx \tan \beta = I$

$$\tau_z = \rho g (h - z) I$$

Tegangan Geser Dasar

$$\tau_b = \tau_{z=0} = \rho \cdot g \cdot h \cdot I \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

2. Tegangan Geser Dasar (*bottom shear stress*)

Tegangan geser bekerja pada perubahan batas sepanjang keliling basah. Tegangan geser dasar adalah tegangan geser rata-rata sepanjang keliling basah.

$$\tau_b \cdot O \cdot \Delta x = \rho \cdot g \cdot A \cdot \Delta x \cdot \sin \beta \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

Di mana

O = keliling basah,

A = luas penampang, dan radius hidrolis $R = A/O$,

Tegangan geser dasar (*bottom shear stress*)

$$\tau_b = \rho \cdot g \cdot R \cdot I \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

Dalam hal saluran sangat lebar dan dangkal di mana $R \approx h$, tegangan geser dasar identik dengan

$$\tau_b = \rho \cdot g \cdot R \cdot S \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

3. Kecepatan Geser (u_*)

Tegangan geser dasar sering dinyatakan dengan kecepatan geser (*friction velocity*).

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}}$$

atau

$$u_* = \sqrt{g.R.I} \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

4. Tegangan geser viskus dan tegangan geser turbulen

Tegangan geser dalam aliran bertambah secara linier dg bertambahnya kedalaman air. Tegangan geser sejalan dengan viskositas dan turbulensi, maka:

$$\tau_z = \tau_v + \tau_t = \rho.g(h-z).S \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

Pada permukaan dasar saluran dimana tidak ada turbulensi ($u=w=0, u'=w'=0$), maka tegangan geser turbulen.

$$\tau_t = -\rho.\overline{u'w'} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

Pada lapisan yang sangat tipis di atas dasar, tegangan geser viskus dominan, maka aliran **laminer**, lapisan ini disebut **viscous sub-layer** (sub lapisan viskus). Di atasnya (yang merupakan bagian besar aliran), tegangan geser turbulen dominan. Tegangan geser pada viscous *sub-layer* adalah konstan dan sama dengan tegangan geser dasar, tidak bertambah secara linier terhadap kedalaman.

2.3.3 Klasifikasi Lapisan Aliran

1. Klasifikasi secara teoritis:

- a. ***Viscous sublayer* atau sub lapisan viskus**, lapisan tipis di atas dasar aliran, tidak ada turbulensi, tegangan geser viskus konstan, aliran **Laminer**, di atas lapisan ini aliran adalah **Turbulen**.
- b. ***Transition layer* atau lapisan transisi**, disebut juga lapisan penyangga, viskositas dan turbulen sama pentingnya
- c. ***Turbulent logarithmic layer* atau lapisan turbulen logaritmik**, tegangan geser viskus dapat diabaikan, di sini dianggap tegangan geser turbulen konstan dan sama dengan tegangan geser dasar. Di lapisan ini Prandtl memperkenalkan konsep *mixing length* dan didapatkan **Profil Kecepatan Logaritmik**
- d. ***Turbulent outer layer***, kecepatan hampir konstan

2. Klasifikasi secara teknis

Secara teoritis, dalam lapisan turbulen logaritmik memperlihatkan bahwa tegangan geser turbulen \approx tegangan geser dasar. Dengan asumsi *mixing length* \approx jarak terhadap dasar ($\ell = \kappa z$), Prandtl mendapatkan profil kecepatan logaritmik. Dari sisi teknis; Lapisan turbulen dengan profil kecepatan logaritmik meliputi; lapisan transisi, lapisan logaritmik turbulen dan lapisan turbulen luar.

Berdasarkan data eksperimental, maka secara lapisan aliran teknis;

Hydraulically smooth flow

Jika kekasaran dasar jauh lebih kecil daripada ketebalan *viscous sublayer*. Karena itu kekasaran dasar tidak mempengaruhi distribusi kecepatan.

$$\frac{u_* k_s}{\nu} \leq 5$$

Hydraulically rough flow

Kekasaran dasar besar, *viscous sub-layer* tidak terjadi dan kecepatan aliran tidak tergantung pada viskositas.

$$\frac{u_* k_s}{\nu} \geq 70$$

Hydraulically transitional flow

Distribusi kecepatan dipengaruhi oleh kekasaran dasar dan viskositas.

$$5 < \frac{u_* k_s}{\nu} < 70$$

2.4 Transportasi Sedimen

Proses transportasi sedimen, yaitu mempelajari tempat bahan granular (non kohesif), yang disebabkan oleh aliran air, sedangkan besarnya angkutan sedimen ditentukan dari perpindahan tempat sedimen yang melalui suatu tampang lintang selama periode waktu yang cukup.

Perbedaan sedimen, cara transportasi, dan asalnya, yaitu:

1. *Bed load* adalah partikel-partikel kasar yang bergerak sepanjang dasar sungai secara keseluruhan atau dapat juga disebut muatan sedimen dasar. Adanya muatan sedimen dasar ditunjukkan oleh gerakan partikel dasar sungai, gerakan itu dapat bergeser, melompat, menggelinding, namun tidak terlepas dari dasar sungai. Gerakan ini mampu terjadi pada jarak tertentu, dan tenaga yang menggerakkan pertama kali adalah tenaga tarik (*drag force*) yang dengan kapasitas tertentu dapat menggerakkan partikel dasar sungai.
2. *Suspended load* adalah muatan sedimen yang bergerak melayang dalam suatu aliran dan didukung oleh air, serta memiliki

intensitas interaksi yang kecil terhadap dasar sungai, akibat dari turbulensi aliran.

Dari cara bahan dasar yang ditransport menurut asalnya, Pragjono mengemukakan dua hal: 1. *Bed Material Transport* yaitu asal transport bahan yang berasal dari dasar sungai, yang berarti pergerakannya ditentukan oleh keadaan aliran sungai yang berupa *bedload* dan *suspendedload*. 2. *Wash Load* yang artinya transport bahan sebagian kecil atau bahkan tidak berasal dari dasar sungai tetapi dari luar.

2.4.1 Awal Gerak Butiran

Gaya-gaya hidrodinamik yang timbul sebagai akibat adanya aliran, bekerja pada material sedimen dasar yang cenderung menyebabkan butiran sedimen tersebut bergerak. Gerakan sedimen dapat berupa menggelinding, menggeser, dan meloncat. Kondisi dimana gaya-gaya hidrodinamika yang bekerja menyebabkan suatu butiran sedimen mulai bergerak disebut kondisi kritis atau awal gerak butiran. Graf (1984) menjelaskan awal gerak butiran sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan persamaan kecepatan kritis yakni dengan mempertimbangkan pengaruh aliran terhadap butiran.
2. Dengan kondisi tegangan gesek kritis yakni dengan mempertimbangkan hambatan gesek dari aliran terhadap butiran.
3. Kriteria gaya angkat yakni dengan mempertimbangkan perbedaan tegangan yang menyebabkan terjadinya gradien kecepatan.

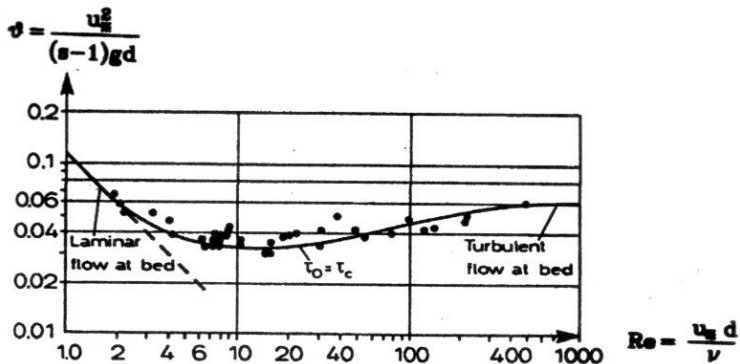
Kriteria tegangan gesek kritis berdasarkan gaya-gaya yang bekerja pada aliran permanen seragam dapat dikategorikan sebagai gaya pendorong berupa gaya tekan hidrostatik yang saling meniadakan. Gaya tekanan atmosfer, serta gaya berat dan gaya penghambat merupakan gaya perlawanan terhadap gaya pendorong.

Sedimen mulai bergerak jika:

$$\begin{aligned}
 u_* &> u_{*,cr} \rightarrow \text{Kecepatan geser kritis} & u_{*,cr} \\
 \text{atau} \quad \tau_b &> \tau_{b,cr} \rightarrow \text{Tegangan geser dasar kritis} & \tau_{b,cr} = \rho \cdot u_{*,cr} \\
 \text{atau} \quad \theta &> \theta_{cr} \rightarrow \text{Parameter Shield kritis} & \theta_{cr} = \frac{u_{*,cr}^2}{(s-1) \cdot g \cdot d}
 \end{aligned}$$

Dari formula sebelumnya

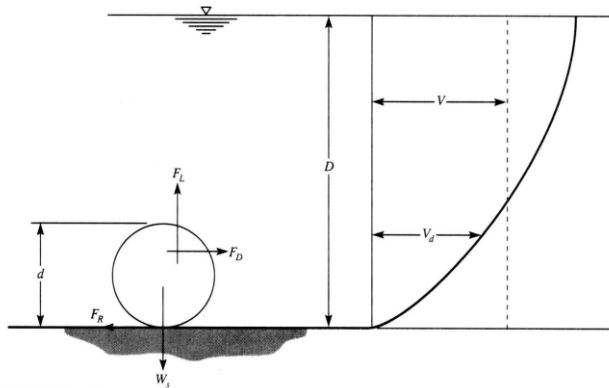
$$R_e = \omega_s \cdot (d / \nu) = \frac{u_* \cdot d_n}{\nu} \dots\dots\dots (2.13)$$



Gambar 2. 3 Diagram Shield Meperlihatkan θ_c sebagai Fungsi Re
Sumber: Sediment Transport, hal. 24

Diagram Shield agak sulit digunakan karena nilai u_* berada pada dua sisi sumbu. **Madsen et al (1976)** mengkonversi Diagram Shield ke dalam suatu diagram yang memperlihatkan hubungan

2.4.2 Persamaan Angkutan Sedimen



Gambar 2. 4 Diagram Gaya-gaya yang Bekerja pada Butiran di Saluran Terbuka
Sumber: Sediment Transport, hal. 20

Jika suatu aliran melampaui kriteria permulaan gerak, sedimen akan mulai bergerak. Jika gerakan sedimen melalui proses *rolling*, *sliding* dan kadang kala *jumping* maka ini disebut *bed load transport* (angkutan sedimen di dasar saluran/beban dasar) di mana pada saat bergerak selalu menyentuh dasar saluran. Pada umumnya angkutan sedimen/beban dasar sekitar 5 - 25% dari angkutan beban suspensi/*suspended load transport*. Jika pada suatu tempat mempunyai material/sedimen kasar maka kemungkinan sebagian besar sedimen/material akan bergerak sebagai angkutan sedimen/*bean dasar (bed load transport)*.

Berikut ini adalah rumus-rumus untuk menyimulasikan kapasitas sedimen yang terdapat pada program Hec-Ras 5.0.3, sebagai berikut:

1. Acker dan White

$$X = \frac{G_{gr} s d_s}{D \cdot \left(\frac{u_*}{V}\right)^n} \quad \text{dan} \quad G_{gr} = C \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1 \right) \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

di mana

- X = konsentrasi sedimen per segmen
 G_{gr} = parameter transpor sedimen
 s = *specific gravity* sedimen
 d_s = nilai tengah diameter partikel
 D = kedalaman efektif
 u_* = kecepatan geser
 V = kecepatan saluran rata-rata
 n = *transition exponen*, tergantung ukuran sedimen
 C = koefisien
 F_{gr} = parameter mobilitas sedimen
 A = parameter mobilitas sedimen kritis

2. Englund Hansen

$$g_s = 0.05 \gamma_s V^2 \sqrt{\frac{d_{50}}{g(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1)}} \left[\frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma) d_{50}} \right]^{3/2} \dots\dots\dots (2.15)$$

di mana:

- g_s = *unit sediment transport*
 γ = berat jenis air
 γ_s = berat jenis sedimen
 V = kecepatan rata-rata saluran
 τ_0 = tegangan geser dasar
 d_{50} = ukuran partikel 50%

3. Laursen-Copeland

$$C_m = 0.01 \gamma \left(\frac{d_s}{D} \right)^{7/6} \left(\frac{\tau_0}{\tau_c} - 1 \right) f \left(\frac{u_*}{\omega} \right) \dots\dots\dots (2.16)$$

di mana:

- C_m = konsentrasi aliran sedimen
 γ = berat jenis air
 d_s = nilai tengah diameter partikel
 D = kedalaman efektif

τ_0 = tegangan geser dasar

τ_c = tegangan geser dasar kritis

$f\left(\frac{u_*}{\omega}\right)$ = fungsi dari rasio kecepatan geser dan kecepatan jatuh

4. Meyer-Peter Muller

$$\left(\frac{k_r}{k'_r}\right)^{3/2} \gamma RS = 0,047(\gamma_s - \gamma)d_m + 0,25 \left(\frac{\gamma}{g}\right)^{1/3} \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma_s}\right)^{2/3} g_s^{2/3} \dots\dots\dots (2.17)$$

g_s = unit sediment transport rate dalam berat/waktu/lebar

k_r = koefisien kekasaran

k'_r = koefisien kekasaran berdasarkan butiran

γ = berat jenis air

γ_s = berat jenis sedimen

g = percepatan gravitasi

d_m = nilai tengah diameter partikel

R = radius hirolis

S = gradien energi

5. Toffaleti

$$g_{SSL} = M \frac{\left(\frac{R}{11,24}\right)^{1+n_v-0,756z} - 2d_m^{1+n_v-0,756z}}{1 + n_v - 0,756z}$$

$$g_{SSM} = M \frac{\left(\frac{R}{11,24}\right)^{0,244z} \left[\left(\frac{R}{2,5}\right)^{1+n_v-z} - \left(\frac{R}{11,24}\right)^{1+n_v-z} \right]}{1 + n_v - z}$$

$$g_{SSU} = M \frac{\left(\frac{R}{11,24}\right)^{0,244z} \left(\frac{R}{2,5}\right)^{0,5z} \left[R^{1+n_v-1,5z} - \left(\frac{R}{2,5}\right)^{1+n_v-1,5z} \right]}{1 + n_v - 1,5z}$$

$$g_{sb} = M(2d_m)^{1+n_v-0,756z}$$

$$M = 43,2C_L(1 + n_v)VR^{0,756z-n_v}$$

$$g_s = g_{ssL} + g_{ssM} + g_{ssU} + g_{sb} \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

di mana:

g_{ssL} = angkutan sedimen tersuspensi pada *lower zone*
(ton/hari/ft)

g_{ssM} = angkutan sedimen tersuspensi pada *middle zone*
(ton/hari/ft)

g_{ssU} = angkutan sedimen tersuspensi pada *upper zone*
(ton/hari/ft)

g_{sb} = angkutan sedimen dasar (ton/hari/ft)

g_s = total angkutan sedimen (ton/hari/ft)

M = parameter konsentrasi sedimen

C_L = konsentrasi sedimen pada *lower zone*

R = jari-jari hidraulik

d_m = diameter rata-rata butiran

z = eksponen hubungan antara sedimen dan karakteristik hidraulik

n_v = eksponen suhu

6. Yang

Untuk pasir $d_m < 2\text{mm}$

$$\log C_t = 5,435 - 0,286 \log \frac{\omega d_m}{v} - 0,457 \log \frac{u_*}{\omega} + \left(1,799 - 0,409 \log \frac{\omega d_m}{v} - 0,314 \log \frac{u_*}{\omega} \right) \log \left(\frac{VS}{\omega} - \frac{V_{cr}S}{\omega} \right)$$

Untuk kerikil $d_m \geq 2\text{mm}$

$$\log C_t = 6,681 - 0,633 \log \frac{\omega d_m}{v} - 4,816 \log \frac{u_*}{\omega} + \left(2,784 - 0,305 \log \frac{\omega d_m}{v} - 0,282 \log \frac{u_*}{\omega} \right) \log \left(\frac{VS}{\omega} - \frac{V_{cr}S}{\omega} \right)$$

di mana: \dots\dots\dots (2.19)

C_t = total konsntrasi sedimen

ω = kecepatan jatuh partikel

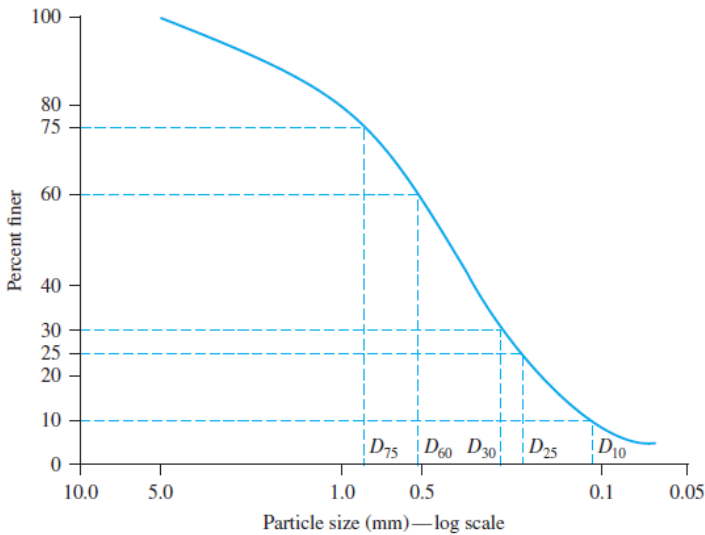
v = diameter rata-rata butiran

u^* = kecepatan geser

V = kecepatan rata-rata saluran, S = kemiringan

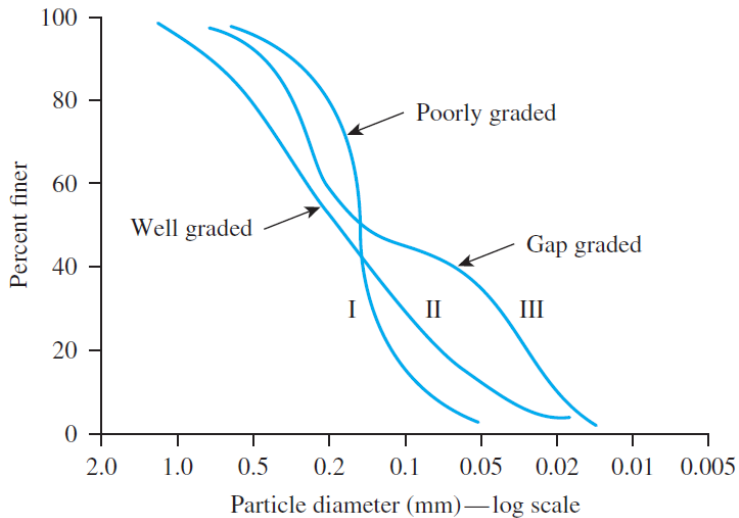
2.4.3 Kurva Distribusi Ukuran Butiran

Diameter partikel (butiran) digambarkan dalam skala logaritmik dan persentase dari butiran yang lolos ayakan digambarkan dalam skala hitung biasa seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.5 di bawah ini. Dari grafik pada gambar tersebut dapat diketahui bahwa yang dimaksud D_{75} , D_{60} , D_{30} , D_{25} dan D_{10} adalah ukuran diameter butiran yang bersesuaian (cocok) dengan besar persentase lolos ayakan yang ditentukan dari kurva distribusi ukuran butiran atau dengan kata lain diameter yang mewakili lolos ayakan pada persentase tertentu.



Gambar 2. 5 Definisi dari D_{75} , D_{60} , D_{30} , D_{25} dan D_{10}

Sumber: Principles of Geotechnical Engineering 8th Edition, hal. 56



Gambar 2. 6 Macam-macam Tipe Kurva Distribusi Ukuran Butiran
Sumber: Principles of Geotechnical Engineering 8th Edition, hal. 57

Kurva distribusi ukuran butiran tidak hanya menunjukkan rentang (*range*) dari ukuran butir yang dikandung di dalam tanah saja, tetapi juga menunjukkan tipe kurva distribusi ukuran butiran tersebut, seperti yang terlihat pada Gambar 2.6 di atas. Kurva I mewakili suatu tipe tanah di mana sebagian besar dari butirannya mempunyai ukuran yang sama dan disebut tanah bergradasi buruk (*poorly graded*). Kurva II mewakili tanah di mana ukuran butirannya terbagi merata di dalam rentang yang lebar dan dinamakan tanah bergradasi baik (*well graded*). Suatu tanah mungkin mempunyai kombinasi dari dua atau lebih fraksi dengan gradasi yang sama, jenis tanah tersebut diwakili oleh kurva III yang dinamakan tanah bergradasi senjang (*gap graded*).

2.4.4 Degradasi

Berbeda dengan panjang gerusan yang mana adalah penurunan dasar sungai terlokalisir, degradasi diartikan sebagai

penurunan dasar sungai jarak jauh. Degradasi dapat terjadi di hulu sungai atau hilir sungai atau keduanya. Contoh yang paling umum dari degradasi hilir sungai adalah dam yang menangkap angkutan sedimen dan melepaskan air jernih. Degradasi di hulu sungai terjadi ketika air di hilir sungai menurun; seperti menurunnya permukaan danau, penambangan lokal material dasar, dan karena proses terjadinya degradasi di hulu lebih cepat dibandingkan dengan di bagian hilir.

2.4.5 Agradasi

Agradasi terjadi ketika elevasi dasar sungai bertambah tinggi. Agradasi dasar sungai sering dihubungkan dengan suplai sedimen yang berlebih. Agradasi dapat menjadi masalah hilir serius dari struktur pengalih air yang efektif menangkap sedimen. Kemudian muatan sedimen dibawa dari hulu oleh aliran yang tereduksi. Agradasi dan degradasi mirip seperti jungkat-jungkit; pada satu sisi adalah ukuran butiran sebagai lengan momen dan beratnya sebagai muatan sedimen, sedangkan di sisi lainnya adalah kemiringan dari sungai dan kecepatan aliran. Jika aliran mendominasi maka sungai akan terdegradasi dan akan teragradasi jika muatan sedimen mendominasi.

2.5 Gerusan

2.5.1 Jenis-jenis Gerusan

Secara umum, adanya gerusan dapat menjadi masalah yang bisa membahayakan kestabilan struktur jembatan. Gerusan (*scouring*) merupakan proses alamiah yang terjadi di sungai sebagai akibat pengaruh morfologi sungai atau adanya bangunan air. Bresuers dan Raudviki (1991) mendefinisikan gerusan yang terjadi pada suatu struktur dapat dibagi berdasarkan dua kategori, yaitu:

1. Tipe dari gerusan
 - a. Gerusan umum (*general scour*) merupakan gerusan yang terjadi akibat dari proses alami dan tidak berkaitan sama sekali dengan adanya bangunan sungai.
 - b. Gerusan di lokalisir (*constriction scour*) merupakan gerusan yang disebabkan oleh penyempitan alur sungai akibat adanya bangunan air.
 - c. Gerusan lokal (*local scour*) merupakan gerusan akibat langsung dari struktur pada alur sungai. Proses terjadinya gerusan lokal biasanya dipicu oleh tertahannya angkutan sedimen yang dibawa bersama aliran oleh struktur bangunan dan peningkatan turbulensi aliran akibat adanya gangguan dari suatu struktur.
2. Gerusan dalam perbedaan kondisi angkutan
 - a. Kondisi *clear water scour* di mana gerusan dengan air bersih terjadi jika material dasar sungai di sebelah hulu gerusan dalam keadaan diam atau tidak terangkut.
 - b. Kondisi *live bed scour* di mana gerusan yang disertai dengan angkutan sedimen material dasar saluran.

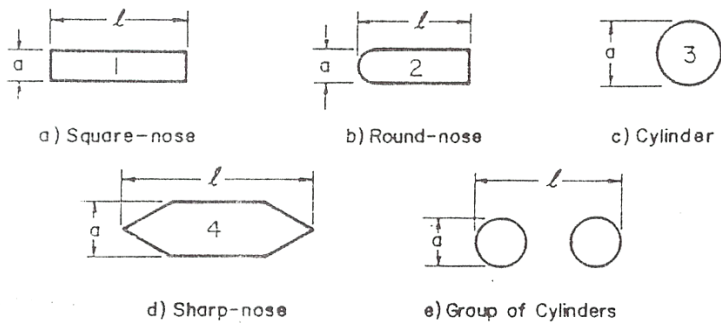
2.5.2 Gerusan pada Pilar Jembatan

Pilar jembatan adalah bagian dari struktur jembatan yang berfungsi sebagai penahan jembatan, yang tertelak di antara kedua abutmen (pondasi jembatan). Ada beberapa jenis pilar, yang mana dalam pemilihannya didasarkan pada analisis struktur, ekonomi, dan lain sebagainya. Jenis-jenis pilar tersebut disajikan pada Tabel 2.1 dan Gambar 2.7. Kedalaman dari gerusan untuk semua jenis pilar, kecuali yang berbentuk silinder (Gambar 2.8), sangat kuat dipengaruhi oleh arah pilar terhadap aliran. Semakin besar sudut serang, titik kedalaman gerusan maksimum berpindah dari sisi bagian depan ke bagian belakang pilar, sehingga kedalaman pada sisi bagian belakang lebih besar dibandingkan dengan di bagian depan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.9 dan 2.10.

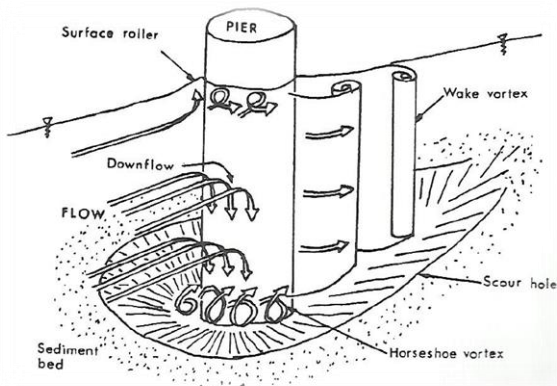
Tabel 2. 1 Koreksi Bentuk Pilar Jembatan

Bentuk Hidung/Ujung Pilar	K_1
<i>Square nose</i>	1,1
<i>Round nose</i>	1,0
<i>Circular cylinder</i>	1,0
<i>Group of cylinders</i>	1,0
<i>Sharp nose (triangular)</i>	0,9

Sumber: Hec-Ras Reference Manual, hal. 10-7

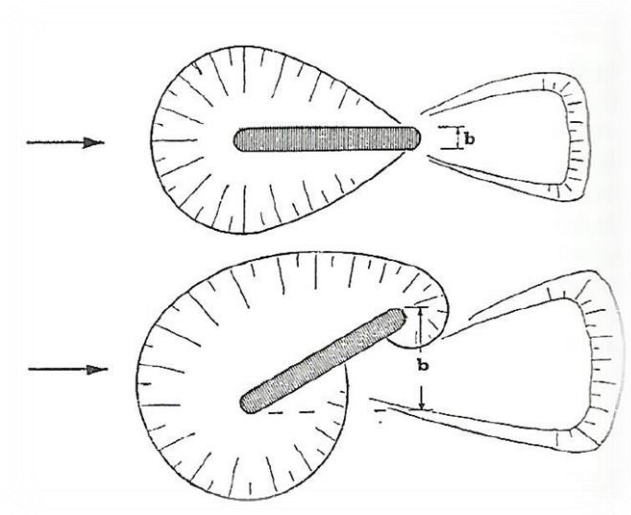


Gambar 2. 7 Bentuk-bentuk Ujung Pilar

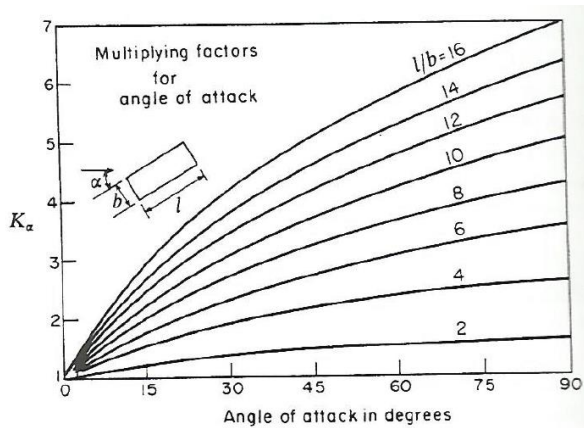


Gambar 2. 8 Pola Gerusan pada Pilar Silinder

Sumber: Scouring, hal. 56



Gambar 2. 9 Bentuk Gerusan terhadap Posisi Pilar
Sumber: Scouring, hal. 72



Gambar 2. 10 Grafik Faktor Posisi K_a untuk Pilar Yang Tidak Sejajar Aliran
(Laursen dan Toch, 1956)
Sumber: Scouring, hal. 72

2.5.3 Persamaan Gerusan Lokal pada Pilar

Dalam analisa kedalaman *scouring* secara umum dapat digunakan **rumus Lacey** berikut:

$$d = 0,473 \times \left(\frac{Q}{f} \right)^{0,33} \dots\dots\dots (2.20)$$

di mana:

d = kedalaman normal *scouring* dari tanah dasar sungai (m)

Q = debit (m³/dt)

f = Faktor lempung Lacey di mana merupakan fungsi material dasar = $1,76 \times \sqrt{\text{(ukuran butir)}}$

Tabel 2. 2 Faktor Lempung Lacey Berdasar Tanah

No.	Jenis Material	Diameter (mm)	Faktor (f)
1	Lanau sangat halus (<i>very fine silt</i>)	0,052	0,4
2	Lanau halus (<i>fine silt</i>)	0,120	0,8
3	Lanau sedang (<i>medium silt</i>)	0,233	0,85
4	Lanau (<i>standart silt</i>)	0,322	1,00
5	Pasir (<i>medium sand</i>)	0,505	1,20
6	Pasir kasar (<i>coarse sand</i>)	0,725	1,50
7	Kerikil (<i>heavy sand</i>)	0,920	2,00

Tabel 2. 3 Kedalaman Gerusan

No.	Kondisi Aliran	Penggerusan Maksimal
1	Aliran lurus	1,27d
2	Aliran Belok	1,50d
3	Aliran Belok Kanan	1,75d
4	Aliran Sudut Lurus	2,00d
5	Hidung Pilar	2,00d

Persamaan Garde dan Raju

Persamaan Garde dan Raju digunakan pada gerusan lokal di sekitar pilar jembatan, spur dan abutmen jembatan untuk aliran *clear-water scour* dan *live-bed scour*. Kedalaman gerusan tak berdimensi, D/D_0 dinyatakan:

$$D = \left[\frac{4}{\alpha} \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \left(\frac{U}{\sqrt{gy}} \right)^{n^*} \right] y \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

Dengan :

U = nilai kecepatan aliran rata-rata, m/det.

D = kedalaman gerusan maksimum diukur dari muka air ($y_0 + y_s$), m.

y_0 = kedalaman aliran, m

g = percepatan gravitasi, m/det²

α = perbandingan bukaan (B-L)/B

n^* = eksponen, fungsi ukuran sedimen dan geometri halangan

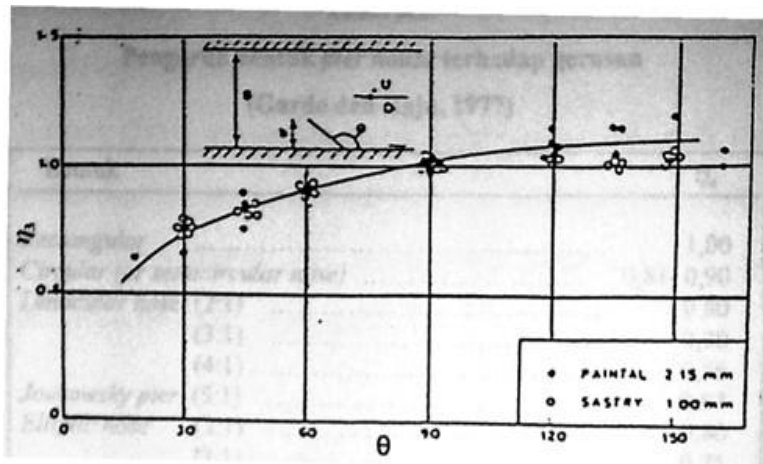
$\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4$, = koefisien.

Seperti ditunjukkan pada Tabel 2.4 nilai η_1 dan n hanya dipengaruhi ukuran sedimen.

Tabel 2. 4 Nilai η_1 dan n untuk Berbagai Diameter Butiran Sedimen

D (mm)	0,29	0,45	1	2,15	4	7,5	10,5
η_1	1	1,09	1,15	1	0,85	0,66	0,54
n^*	0,68	0,85	0,85	0,93	1,05	0,9	0,85

Koefisien η_2 merupakan pengaruh perbandingan panjang dengan lebar pilar terhadap gerusan. Koefisien η_3 merupakan pengaruh variasi sudut kecenderungan terhadap gerusan (θ) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11.

Gambar 2. 11 Hubungan η_3 dan θ

Koefisien η_4 merupakan pengaruh bentuk pilar terhadap gerusan, seperti ditampilkan Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Pengaruh Bentuk Pier Nose terhadap Gerusan

Bentuk		η_4
<i>Rectangular</i>		1,00
<i>Circular (or semicircular nose)</i>		0,81 - 0,90
<i>Lenticular nose</i>	(2:1)	0,80
	(3:1)	0,70
	(4:1)	0,56
<i>Joukowsky pier</i>	(5:1)	0,67
<i>Elliptic nose</i>	(2:1)	0,80
	(3:1)	0,75
<i>Triangular nose</i>	15° <i>appex angle</i>	0,38
	30°	0,52
	60°	0,64
	90°	0,75
	120°	0,80
	180°	0,86

Persamaan Neil 1964

$$\frac{y_s}{y_0} = 1,5 \left(\frac{b}{y_0} \right)^{0.7} \dots\dots\dots (2.22)$$

di mana:

y_s = kedalaman gerusan, m

y_0 = kedalaman aliran, m

b = lebar pilar, m

Analisa *local scouring* dapat dilakukan dengan menggunakan rumus yang diusulkan oleh Neill (1973) untuk mengetahui gerusan antara dua pilar, untuk lebih mudahnya dapat digunakan grafik pada Gambar 2.12 berikut. Namun pada tugas akhir ini perumusan

tersebut digunakan untuk acuan angkutan sedimen, bukan *local scouring*.

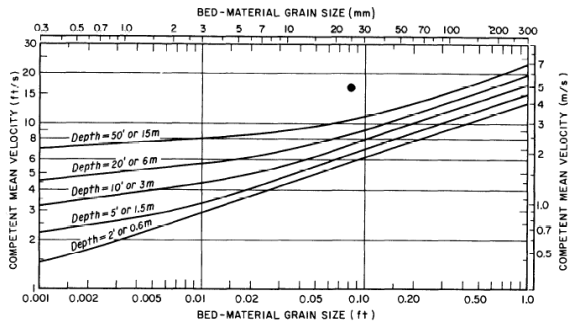


Figure 12. - Suggested competent mean velocities for significant bed movement of cohesionless materials, in terms of grain size and depth of flow (after Neill, 1973).

Gambar 2. 12 Grafik Hubungan Material Dasar, Kecepatan dan Kedalaman (Neil, 1973)

Sumber: Computing Degradation and Local Scour, hal. 41

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi disusun untuk mempermudah pelaksanaan studi agar memperoleh pemecahan masalah sesuai dengan studi yang telah ditetapkan melalui prosedur kerja yang sistematis, teratur, dan tertib, sehingga dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

3.1 Studi Lapangan dan Studi Literatur

Studi lapangan dimaksudkan untuk mengetahui kondisi eksisting daerah pematuan sungai pada jembatan yang ditinjau. Studi lapangan ini dilakukan dengan melakukan survei kawasan studi dengan pengumpulan data-data berupa foto dokumentasi.

Studi literatur yang digunakan meliputi buku referensi, laporan atau studi yang terkait dengan gerusan lokal pada jembatan. Studi ini dilakukan sepanjang tahapan, yaitu mulai tahap awal sampai dengan analisis data pembahasan hingga dapat diperoleh kesimpulan.

3.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan merupakan jenis data sekunder yang diperoleh dari:

1. Data peta
Data peta diperlukan untuk mengetahui kondisi tofografi sungai, penampang memanjang dan melintang sungai.
2. Data hidrologi
Data hidrologi diperlukan untuk menganalisa besarnya kecepatan, kapasitas tampungan penampang sungai, dan gaya yang menyebabkan terangkutnya butiran-butiran

tanah sehingga terjadi gerusan. Data hidrologi adalah data debit sungai Brantas yang didapat dari stasiun Menturus.

3. Data sedimen

Data sedimen diperlukan untuk mengetahui besarnya angkutan sedimen di dalam aliran.

3.3 Analisis Data dan Perhitungan

3.3.1 Analisa Hidrologi

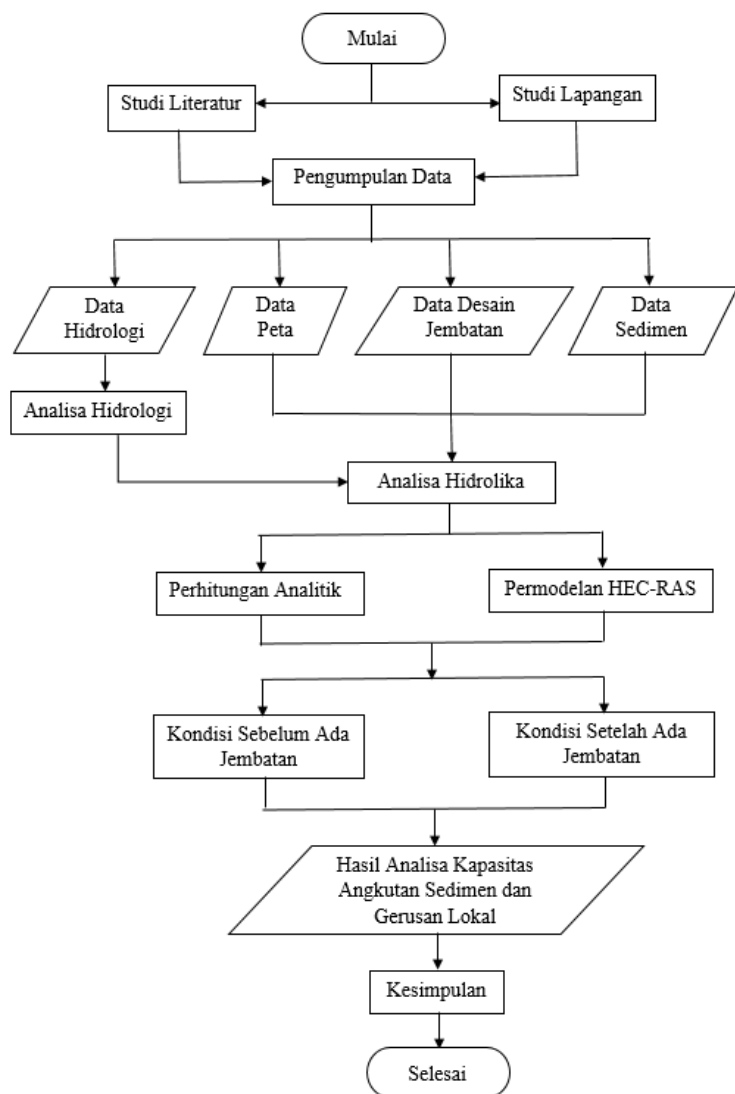
Analisa hidrologi dilakukan dengan menganalisa data debit Menturus, kemudian menghitung besarnya debit aliran rencana di Sungai Brantas yang digunakan untuk simulasi gerusan lokal.

3.3.2 Analisa Angkutan Sedimen dan Gerusan

Analisa angkutan sedimen dan gerusan lokal dilakukan dengan permodelan pada program bantu HEC-RAS, bertujuan untuk mengetahui besarnya volume transportasi sedimen dan perubahan morfologi serta kedalaman gerusan yang terjadi pada dasar sungai di sekitar jembatan Tol Mojokerto-Kertosono.

3.4 Bagan Alir

Bagan alir (*flow chart*) diperlukan untuk mempermudah penelitian yang akan dilakukan sehingga didapatkan hasil yang sesuai dengan tujuan. Gambar 3.1 menunjukkan bagan alir pengerjaan tugas akhir ini.



Gambar 3. 1 Bagan Alir Studi

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Analisa Hidrologi

Analisa hidrologi yang dilakukan adalah perhitungan debit periode ulang yang melintasi ruas sungai pada lokasi studi. Debit periode ulang adalah debit yang terjadi satu kali di mana besarnya akan disamai atau dilampaui dalam periode tersebut.

Dalam tugas akhir ini debit periode ulang digunakan adalah 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun. Data yang digunakan adalah data debit harian yang tercatat dari pos pengamatan di Menturus dari 1 Januari 1999 sampai dengan 31 Januari 2011.

Dalam perhitungan debit periode ulang ini metode yang digunakan adalah metode Gumbel. Adapun langkah-langkah perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Menghitung besar debit maksimum di setiap tahun.
2. Menghitung debit rata-rata maksimum.
3. Menghitung standar deviasi.
4. Menghitung konstanta α dan u .
5. Menghitung faktor reduksi Gumbel (Y_T).
6. Menghitung debit periode ulang.

Berikut ini Tabel 4. 1 adalah salah satu contoh perhitungan debit periode ulang 2 tahun.

Tabel 4. 1 Debit Maksimum di Setiap Tahun

Tahun	X	X - μ	(X - μ) ²
1999	1.120	-136,5	18.632,25
2000	1.019	-237,5	56.406,25
2001	1.170	-86,5	7.482,25
2002	1.304	47,5	2.256,25
2003	955	-301,5	90.902,25
2004	1.600	343,5	117.992,3
2005	949	-307,5	945.56,25
2006	1.219	-37,5	1.406,25
2007	1.707	450,5	202.950,3
2008	1.329	72,5	5.256,25
2009	1.224	-32,5	1.056,25
2010	1.482	225,5	50.850,25
2011	828	-428,5	183.612,3
Jumlah			649.747
μ	1.256,5		

Sumber: Hasil Perhitungan

Ket: μ = nilai rata-rata

$$s = \sqrt{\frac{\sum(X - \mu)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{649747}{13 - 1}} = 261,2845$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}s}{\pi} = 203,7227$$

$$u = \mu + 0,5772\alpha = 1.138,91$$

$$Y_T = -\ln \left[\ln \frac{T}{T - 1} \right] = -\ln \left[\ln \frac{2}{2 - 1} \right] = 0,3665$$

Sehingga, besarnya debit periode ulang 2 tahun adalah:

$$X_T = u + Y_T \alpha = 1.138,91 + 0,3665 \times 203,7227 = 1.213,58 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Untuk perhitungan debit periode ulang lainnya sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4. 2.

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Debit Rencana Periode Ulang

Periode Ulang	Y_t	$X_t \text{ (m}^3/\text{dt)}$
2 tahun	0,366513	1.213,58
5 tahun	1,49994	1.444,48
10 tahun	2,250367	1.597,36
25 tahun	3,198534	1.790,53
50 tahun	3,901939	1.933,83
100 tahun	4,600149	2.076,07

Sumber: Hasil Perhitungan

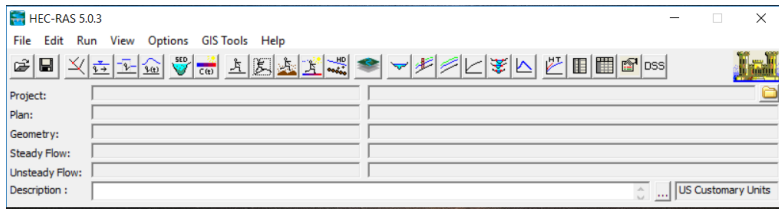
4.2 Analisa Hidrolika

Analisa hidrolika pada tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan program bantu Hec-Ras 5.0.3. Jenis simulasi untuk analisa hidrolika pada program ini ada dua, yaitu *steady* dan *unsteady flow*. *Steady flow* adalah aliran di mana ada kemungkinan perbedaan sifat-sifat aliran di setiap titik, tetapi tidak berubah terhadap waktu. Sedangkan *unsteady flow* adalah aliran di mana sifat aliran tidak tetap dan bergantung terhadap waktu.

Berikut ini adalah langkah-langkah permodelan Hec-Ras 5.0.3 untuk memodelkan jembatan:

1. Membuka program.

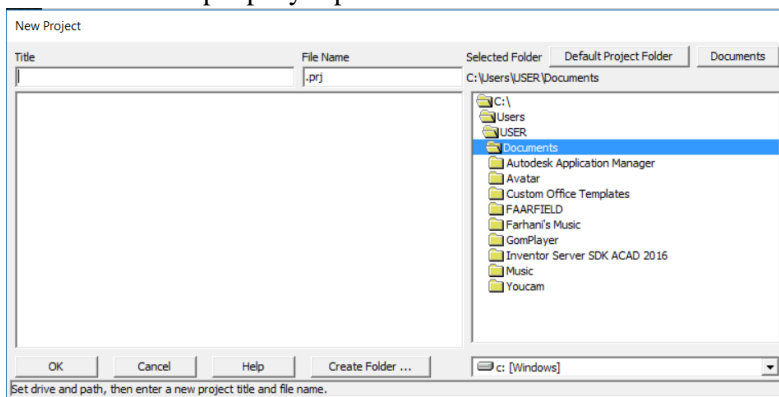
Layar utama Hec-Ras 5.0.3 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 1 adalah tampilan yang akan tampil saat program ini dibuka.



Gambar 4. 1 Layar Utama Program Hec-Ras 5.0.3

2. Membuat *project* baru.

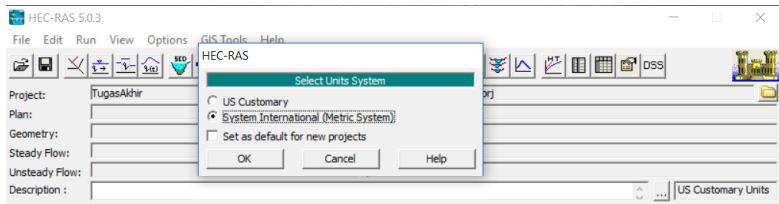
Sebelum melakukan permodelan, *file* harus terlebih dahulu dibuat dengan cara memilih *File* kemudian *New Project* dan akan tampil Gambar 4. 2. Setelah itu menulis nama *project* dan memilih tempat penyimpanan folder.



Gambar 4. 2 Tampilan untuk Membuat Pekerjaan Baru

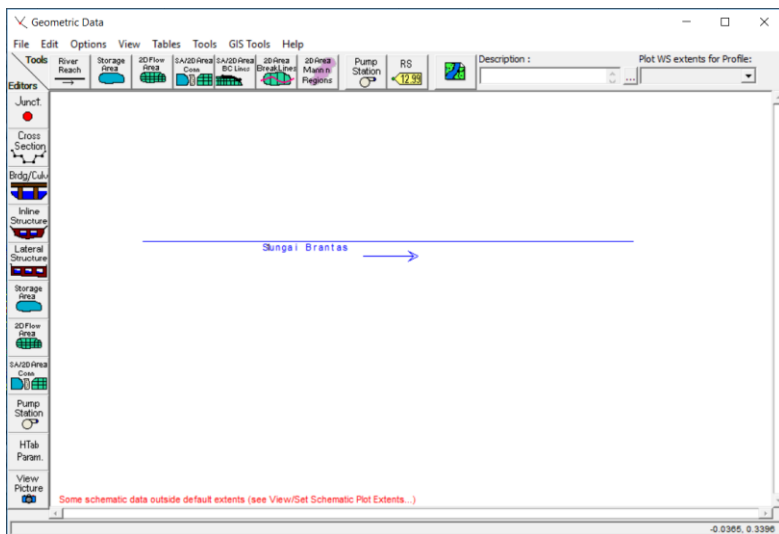
3. Mengubah sistem satuan.

Ada dua sistem satuan yang terdapat di Hec-Ras 5.0.3 yang dapat digunakan, pada Tugas Akhir ini yang digunakan adalah sistem internasional, yang dipilih melalui *Options* kemudian *Unit System* seperti yang terlihat pada Gambar 4. 3.



Gambar 4. 3 Tampilan saat Mengganti Unit Satuan

4. Menggambar skema geometri dan penampang sungai.
 Skema geometri sungai digambar sesuai dengan data geometri yang didapatkan, dengan memilih *Edit/Enter Geometry Data* kemudian memilih *River Reach* sehingga hasilnya seperti pada Gambar 4. 4 di bawah ini.



Gambar 4. 4 Skema Aliran Sungai

Kemudian, memasukkan data penampang melintang sungai yang meliputi jarak, elevasi, koefisien Manning, jarak antar penampang, dan tanggul (*levee*). Pada tampilan di atas, pilih *Cross Section* dan akan tampil Gambar 4. 5 berikut.

Cross Section Data

Exit Edit Options Plot Help

River: Sungai Brantas Apply Data Plot Options Keep Prev XS Plots Clear Prev Plot Terrain (if a

Reach: 1 River Sta.: 0

Description

Del Row	Ins Row	Station	Elevation
1	0	22.97	
2	3.89	23.25	
3	8.9	23.41	
4	10.61	24.01	
5	13.03	23.83	
6	18.67	20.12	
7	22.29	17.73	
8	31.16	17.67	
9	91.47	17.67	
10	151.36	17.67	
11	156.19	20.7	
12	173.9	20.85	
13	192.31	20.9	
14	205.2	21.35	
15	208.83	22.96	
16	211.11	23.8	
17	218.23	23.76	
18	220.78	23.84	
19	223.2	22.9	
20	228.31	22.53	
21	230.72	21.78	
22	237.69	21.58	
23	241.6	19.36	
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			

Downstream Reach Lengths		
LOB	Channel	ROB
0	0	0

Manning's n Values		
LOB	Channel	ROB
0.03	0.03	0.03

Main Channel Bank Stations	
Left Bank	Right Bank
18.67	205.2

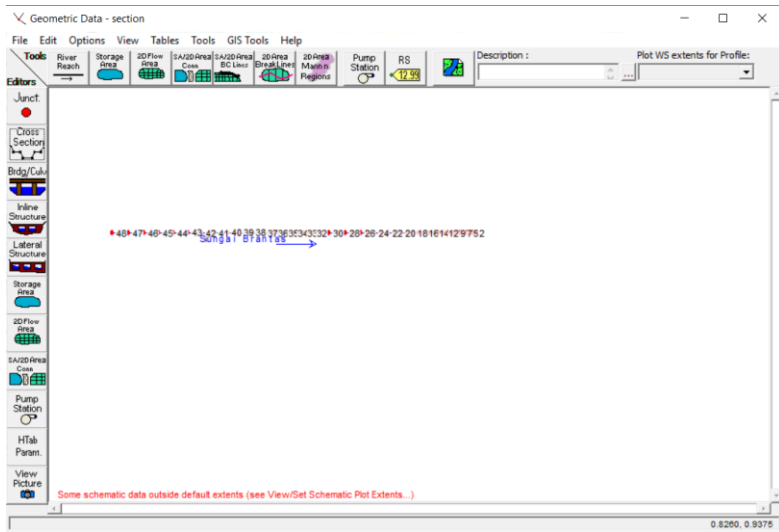
Cont'Exp Coefficient (Steady)	
Contraction	Expansion
0.1	0.3

No Data for Plot

Edit right over bank Manning's n value

Gambar 4. 5 Tampilan untuk Memasukkan Data Potongan Melintang Sungai

Setelah semua data potongan melintang selesai dimasukkan, maka pada layar utama *Geometric Data* akan terlihat seperti pada Gambar 4. 6.



Gambar 4. 6 Tampilan Skema Geometri Seluruh Penampang

5. Menggambar struktur melintang di atas sungai.

Selain Jembatan Tol Mojokerto-Kertosono, sebelumnya sudah ada Jembatan Pagerluyung yang melintang di atas Sungai Brantas. Cara membuat model jembatan adalah dengan memilih *Bridge/Culvert* kemudian dari *Options* pilih *Add Bridges and/or Culverts*. Setelah itu kita diminta untuk memasukkan sta lokasi di mana jembatan tersebut berada. Kemudian pilih *Deck/Roadway*; pada kolom *Distance* diisi dengan jarak jembatan ke penampang di hilir (*downstream*) jembatan dan pada kolom *Width* diisi dengan lebar *deck* jembatan. *High chord* dan *low chord* diisi dengan elevasi atas dan elevasi bawah *deck* jembatan. Angka-angka yang lainnya dapat diabaikan, sehingga akan ditentukan program secara *default*.

Deck/Roadway Data Editor

Distance	Width	Weir Coef
16.7	3.4	2.7

Upstream				Downstream		
	Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1	11.52	28.	27.	11.52	28.	27.
2	189.63	28.	27.	189.63	28.	27.
3						
4						
5						
6						
7						
8						

U.S Embankment SS:
 D.S Embankment SS:

Weir Data
 Max Submergence:
 Min Weir Flow El:

Weir Crest Shape
☒ Broad Crested
☐ Ogee

Enter distance between upstream cross section and deck/roadway. (ft)

Gambar 4. 7 Memasukkan Data *Deck* Jembatan Pagerluyung

Setelah memasukkan data *deck* jembatan seperti pada Gambar 4. 7 di atas, selanjutnya adalah memasukkan data pilar jembatan dengan memilih *Pier*. Pada jendela tampilan *Pier Data Editor*, isikan jarak pilar di *Centerline Station Upstream* dan *Centerline Station Downstream*. Data pilar dapat ditiru untuk pilar lainnya dengan memperhatikan jarak.

Pier Data Editor

Add Copy Delete Pier # 1 ↓ ↑

Del Row Centerline Station Upstream 30.57

Ins Row Centerline Station Downstream 30.57

Floating Pier Debris

All On ... All Off ... ☐ Apply floating debris to this pier

Set Wd/Ht for all ... Debris Width: Debris Height:

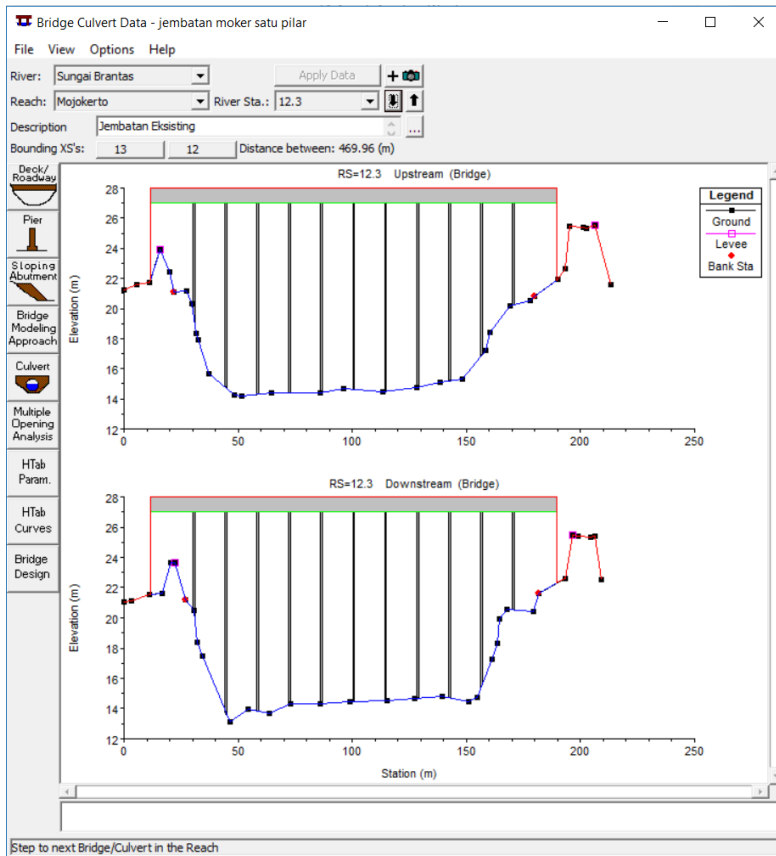
	Upstream		Downstream		
	Pier Width	Elevation	Pier Width	Elevation	
1	0.8	10.	0.8	10.	▲ ▼
2	0.8	27.	0.8	27.	
3					
4					
5					

OK Cancel Help Copy Up to Down

Select the Pier to Edit

Gambar 4. 8 Data Salah Satu Pilar Jembatan Pagerluyung

Jika semua data pilar sudah dimasukkan seperti Gambar 4. 8, maka tampilan jembatan Pagerluyung akan terlihat seperti Gambar 4. 9.



Gambar 4. 9 Permodelan Jembatan Pagerluyung

6. Menggambar struktur jembatan Tol Mojokerto-Kertosono. Dikarenakan struktur jembatan yang posisi melintangnya tidak tegak lurus memotong penampang sungai dan pada Hec-Ras 5.0.3 kondisi ini tidak dapat dimodelkan, sehingga untuk mengatasi hal tersebut, panjang jembatan diproyeksikan menjadi lurus, dari yang semula sepanjang 299 m menjadi 117 m. Gambar 4.10 menampilkan data *deck* jembatan tol Mojokerto-Kertosono.

Deck/Roadway Data Editor

Distance	Width	Weir Coef
6.15	34	1.4

Clear Del Row Ins Row Copy US to DS

Upstream			Downstream		
Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1 0.	32.17	29.67	0.	32.17	29.67
2 38.	32.17	29.67	38.	32.17	29.67
3 48.	32.17	29.67	48.	32.17	29.67
4 49.797	32.17	29.71	49.797	32.17	29.71
5 51.751	32.17	29.72	51.751	32.17	29.72
6 53.705	32.17	29.68	53.705	32.17	29.68
7 55.658	32.17	29.51	55.658	32.17	29.51
8 57.612	32.17	29.46	57.612	32.17	29.46

U.S Embankment SS 0 D.S Embankment SS 0

Weir Data

Max Submergence: 0.98 Min Weir Flow El:

Weir Crest Shape

☒ Broad Crested

☐ Ogee

OK Cancel

Enter distance between upstream cross section and deck/roadway. (m)

Gambar 4. 10 Memasukkan Data Deck Jembatan Tol Moker

Pier Data Editor

Add Copy Delete Pier # 1

Del Row Centerline Station Upstream 77.73

Ins Row Centerline Station Downstream 77.73

Floating Pier Debris

All On ... All Off ... ☐ Apply floating debris to this pier

Set Wd/Ht for all ... Debris Width: Debris Height:

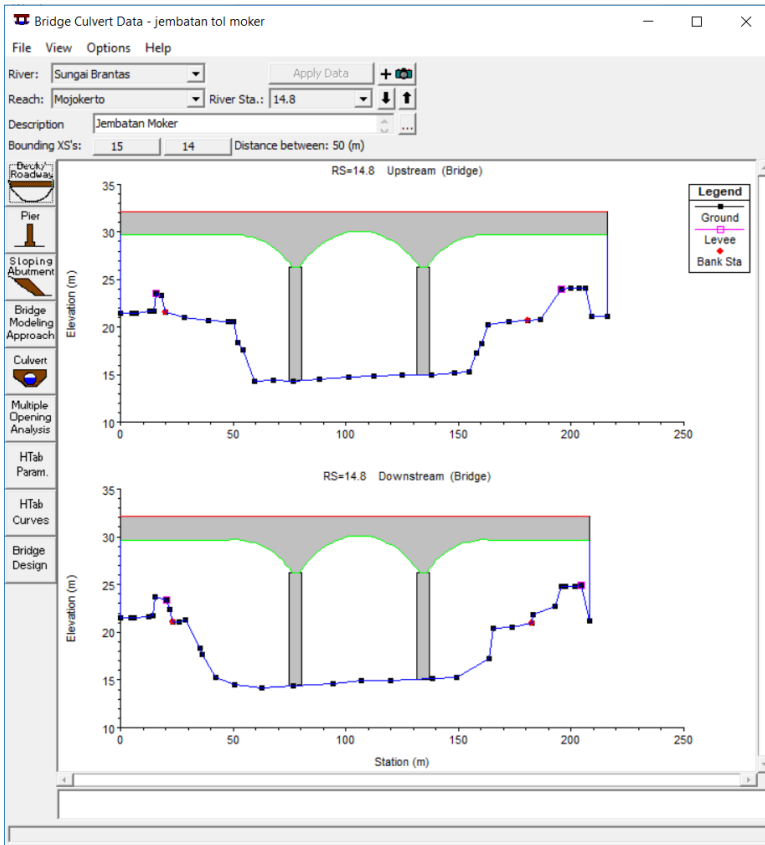
Upstream		Downstream	
Pier Width	Elevation	Pier Width	Elevation
1 5.5	12.96	5.5	12.96
2 5.5	15.46	5.5	15.46
3 5.5	26.27	5.5	26.27
4			
5			

OK Cancel Help Copy Up to Down

Select the Pier to Edit

Gambar 4. 11 Memasukkan Data Pilar Jembatan Tol Moker

Gambar 4.11 di atas berisi data-data pilar jembatan, sedangkan Gambar 4.12 adalah tampilan model jembatan tol Mojokerto – Kertosono setelah semua data dimasukkan.



Gambar 4. 12 Permodelan Jembatan Tol Mojokerto-Kertosono

7. Memasukkan data debit untuk analisa hidrolika.
 Nilai debit yang terdapat pada Tabel 4. 2 dimasukkan seperti pada Gambar 4.13 melalui pilihan menu *Edit* kemudian pilih *Steady Flow Data*. Setelah memasukkan

semua data debit, pilih *Reach Boundary Conditions* dan mengisi kondisi batas untuk downstream sebagai *Normal Depth* kemudian mengisi kemiringan dasar sungai sebesar 0,002 seperti Gambar 4.14.

Steady Flow Data - periode ulang

File Options Help

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max): Reach Boundary Conditions ... Apply Data

Locations of Flow Data Changes

River: Sungai Brantas Add Multiple...

Reach: Mojokerto River Sta.: 48 Add A Flow Change Location

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates					
River	Reach	RS	2 tahun	5 tahun	10 tahun	20 tahun	50 tahun	100 tahun
1 Sungai Brantas	Mojokerto	48	1213.578	1444.483	1597.362	1744.007	1933.825	2076.066

Edit Steady flow data for the profiles (m3/s)

Gambar 4. 13 Memasukkan Data Debit

Steady Flow Boundary Conditions

☒ Set boundary for all profiles ☐ Set boundary for one profile at a time

Available External Boundary Condition Types

Known W.S. Critical Depth Normal Depth Rating Curve Delete

Selected Boundary Condition Locations and Types

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
Sungai Brantas	Mojokerto	all		Normal Depth S = 0.002

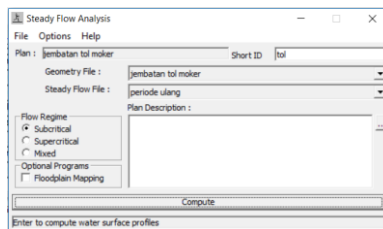
Steady Flow Reach-Storage Area Optimization ... OK Cancel Help

Select Boundary condition for the upstream side of selected reach.

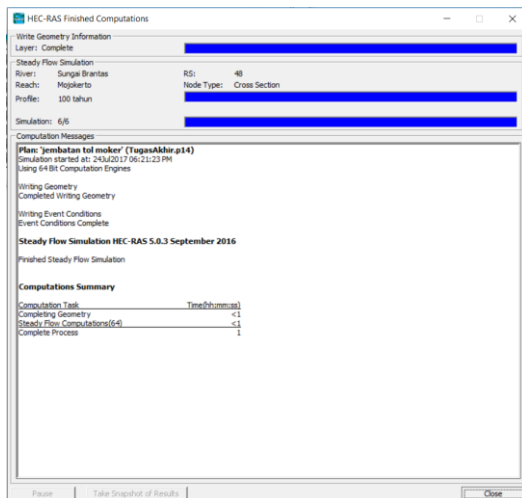
Gambar 4. 14 Kondisi Batas untuk Hilir

8. Menjalankan program

Untuk menjalankan atau proses *running* program, pada tampilan utama pilih *Run* kemudian pilih *Steady Flow Analysis* dengan menyertakan tipe aliran *subcritical* seperti yang ditunjukkan Gambar 4.15. Hasil *running* selesai ditandai dengan ditampilkan kotak dialog *Finished Computations* seperti Gambar 4.16, pada tampilan tersebut *error* yang terjadi juga dapat diketahui. Setelah melakukan *running steady flow* dan tidak ada *error*, barulah gerusan yang terjadi pada jembatan dapat dievaluasi.



Gambar 4. 15 Tampilan untuk *Running* Program



Gambar 4. 16 Tampilan *Running* Selesai Dilakukan

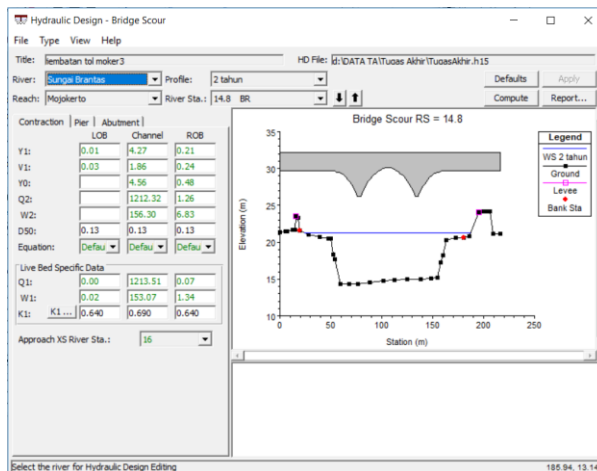
4.3 Analisa Gerusan di Sekitar Pilar

4.3.1 Permodelan Gerusan pada Hec-Ras

Permodelan gerusan pada program Hec-Ras 5.0.3 dilakukan dengan membuka *Hydraulic Design Function* pada tampilan utama dan memilih *Bridge Scour* pada *Type*. Pada analisa ini jenis-jenis *scouring* yang dapat diketahui, yaitu *contraction scour*, gerusan akibat pilar dan abutmen, dan gerusan total.

4.3.2 Permodelan Kondisi Sebelum Ada Jembatan

Permodelan kondisi sebelum ada jembatan dimaksudkan untuk mengetahui gerusan yang terjadi akibat penyempitan sungai di penampang jembatan. Pada kondisi ini pilar dihilangkan, sehingga pada penampang hanya terlihat *deck* jembatan saja. Gambar 4.17 menunjukkan data-data yang dimasukkan untuk menghitung *contraction scour* untuk debit banjir 2 tahun. Beberapa data akan terisi secara otomatis atau bisa diisi sesuai dengan keinginan, untuk *contraction* data yang dibutuhkan adalah ukuran sedimen d_{50} , dan koefisien K_1 yang bisa dihitung otomatis oleh program seperti Gambar 4.18 atau diisi sesuai perhitungan.



Gambar 4. 17 Memasukkan Data *Contraction*

K1 coefficient for Contraction Scour

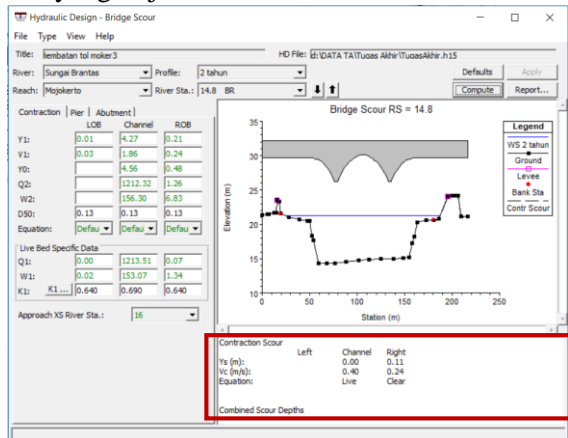
	LOB	Channel	ROB
S1 :	0.000458	0.000458	0.000458
V* (m/s):	0.01	0.14	0.03
Water Temp (C):		16.0	
w (m/s):	0.0171	0.0171	0.0171
V*/w :	0.585	8.187	1.754
K1 :	0.640	0.690	0.640

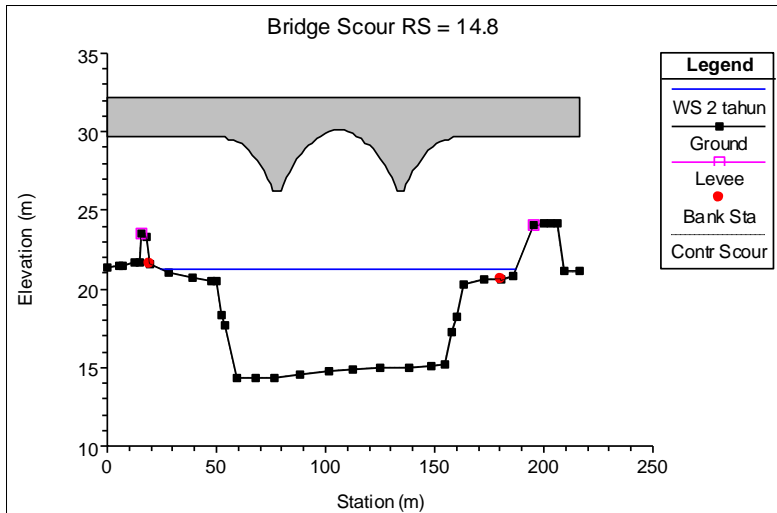
OK Cancel

EG slope in approach section

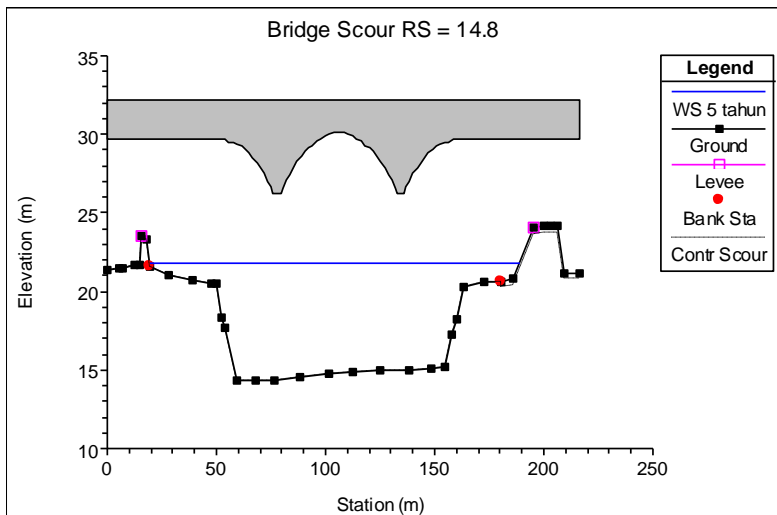
Gambar 4. 18 Menghitung Koefisien K1

Gambar 4.19 menunjukkan hasil analisa *scouring* dan pola gerusan yang akan terjadi. Hasil kedalaman *scouring* dapat dilihat pada bagian yang sudah tersedia yang diberi tambahan kotak garis merah pada gambar tersebut, selain itu rumus yang digunakan oleh program juga dapat diketahui jika persamaan yang dipilih adalah *default*. Gambar 4.20, Gambar 4.21, Gambar 4.22, Gambar 4.23, Gambar 4.24, dan Gambar 4.25 menunjukkan pola gerusan akibat penyempitan yang terjadi.

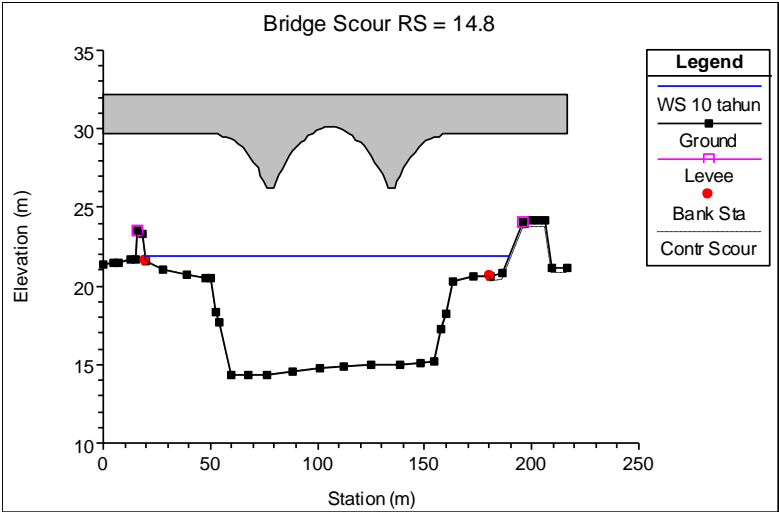
Gambar 4. 19 Tampilan Hasil Analisa *Scouring*



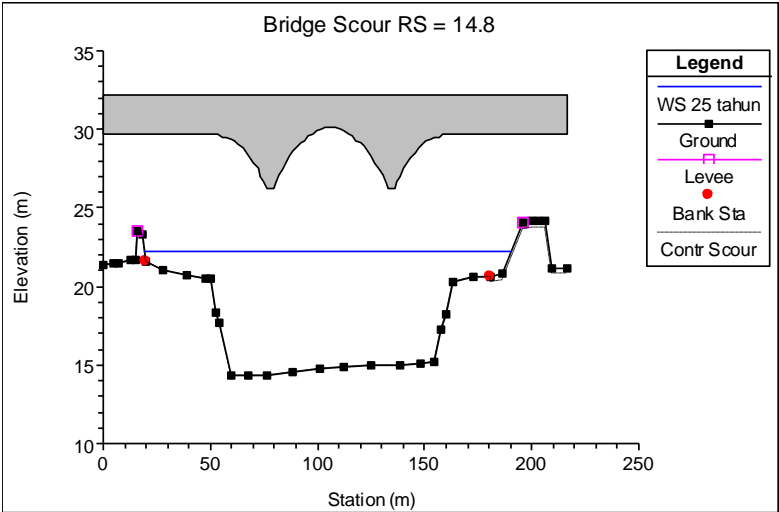
Gambar 4. 20 *Contraction Scour* Yang Terjadi dengan Debit Rencana 2 Tahun



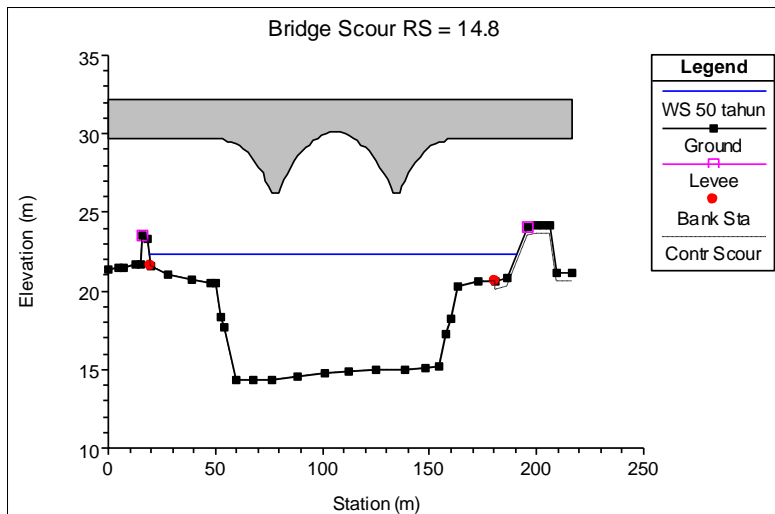
Gambar 4. 21 *Contraction Scour* Yang Terjadi dengan Debit Rencana 5 Tahun



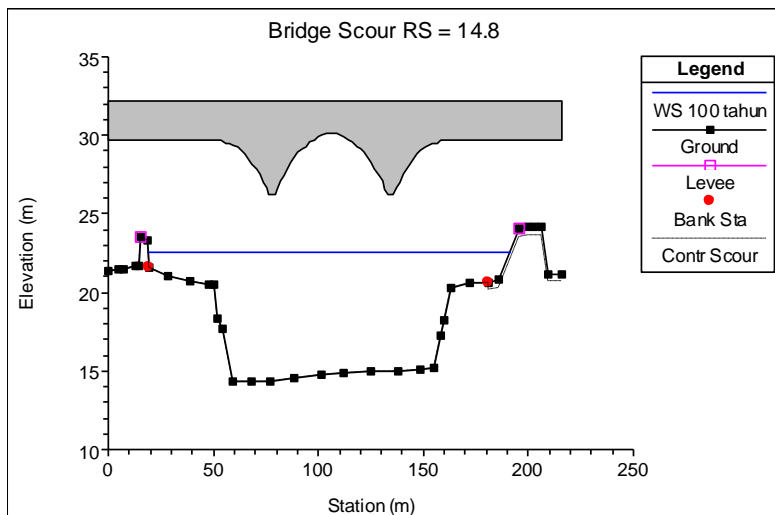
Gambar 4. 22 Contraction Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 10 Tahun



Gambar 4. 23 Contraction Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 25 Tahun



Gambar 4. 24 *Contraction Scour* Yang Terjadi dengan Debit Rencana 50 Tahun



Gambar 4. 25 *Contraction Scour* Yang Terjadi dengan Debit Rencana 100 Tahun

Hasil analisa kedalaman *contraction scour* disajikan dalam Tabel 4.3 di bawah ini.

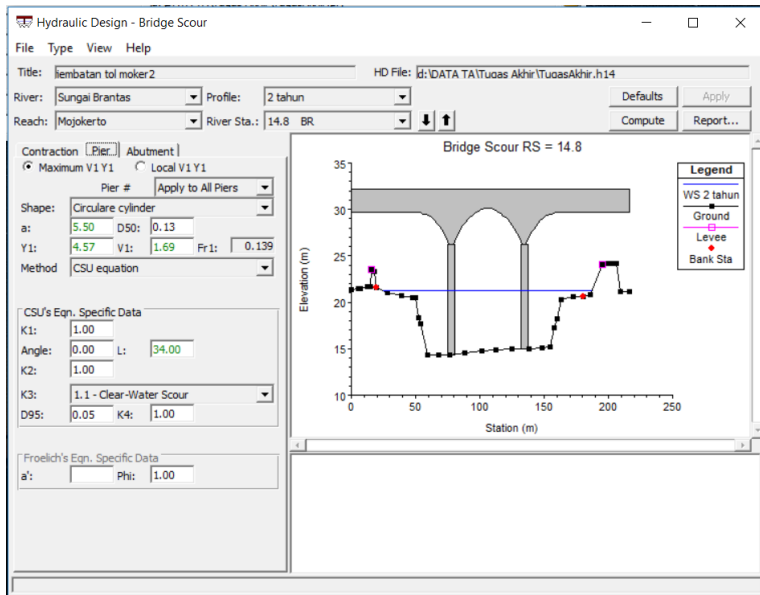
Tabel 4. 3 Kedalaman *Contraction Scouring* terhadap Debit Periode Ulang pada Permodelan Hec-Ras

Periode Ulang	Debit (m ³ /dt)	<i>Contraction Scour</i>		
		<i>Left</i> (m)	<i>Channel</i> (m)	<i>Right</i> (m)
2 tahun	1.213,58	-	0	0,11
5 tahun	1.444,48	-	0	0,38
10 tahun	1.597,36	0	0	0,37
25 tahun	1.790,53	0	0	0,37
50 tahun	1.933,85	0	0	0,43
100 tahun	2.076,07	0	0	0,47

Sumber: Program Hec-Ras 5.0.3

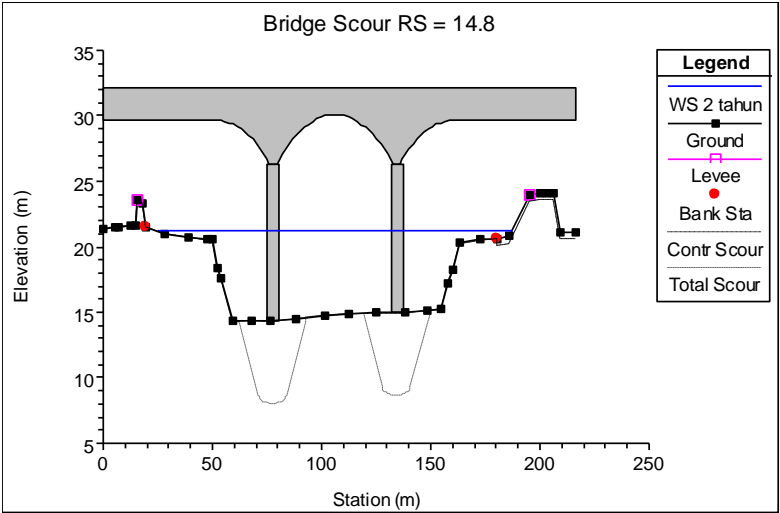
4.3.3 Permodelan Kondisi Sesudah Ada Jembatan

Permodelan sesudah ada jembatan dimaksudkan untuk mengetahui prediksi kedalaman gerusan total akibat *contraction scour* dan pilar. Bentuk pilar adalah *circular cylinder*, data yang diisi adalah sudut datang dan ukuran sedimen d95. Gambar 4.26 menunjukkan isian data untuk pilar. Sudut datang atau *angle of attack* diisi dengan 0° karena posisi pilar sejajar aliran.

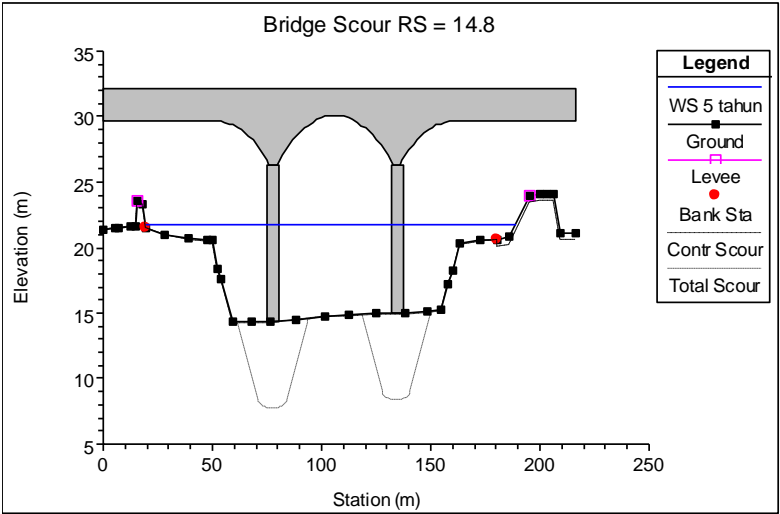


Gambar 4. 26 Memasukkan Data untuk Pilar

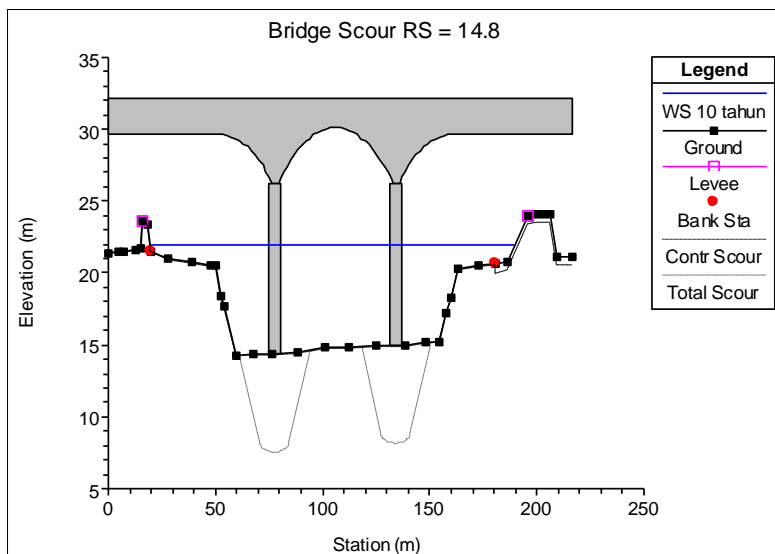
Kondisi pilar jembatan dari gambar desain masih berada di atas dasar sungai, sedangkan bagian bawahnya yang berupa *pile cap* berada di bawah dasar sungai, sehingga dapat diketahui bahwa *scouring* yang akan terjadi adalah pada bagian *pile cap* tersebut. Namun pada tugas akhir ini disimulasikan pilar jembatan selebar 5,5 m tanpa adanya *pile cap*, ada pun alasan mendasarnya adalah karena lebar *pile cap* yang sangat besar, yaitu 20 m, sehingga hasil *scouring* yang akan terjadi dapat diprediksikan tidak rasional. Besar butir sedimen d50 dan d95 adalah 0,129 mm dan 0,0508 mm. Setelah mengisi semua data, kemudian dilakukan analisa *scouring* dengan debit banjir rencana periode ulang 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun dengan memilih tombol *compute*. Gambar 4.27, Gambar 4.28, Gambar 4.29, Gambar 4.30, Gambar 4.31, dan Gambar 4.32 menunjukkan pola gerusan yang terjadi pada debit banjir rencana tersebut.



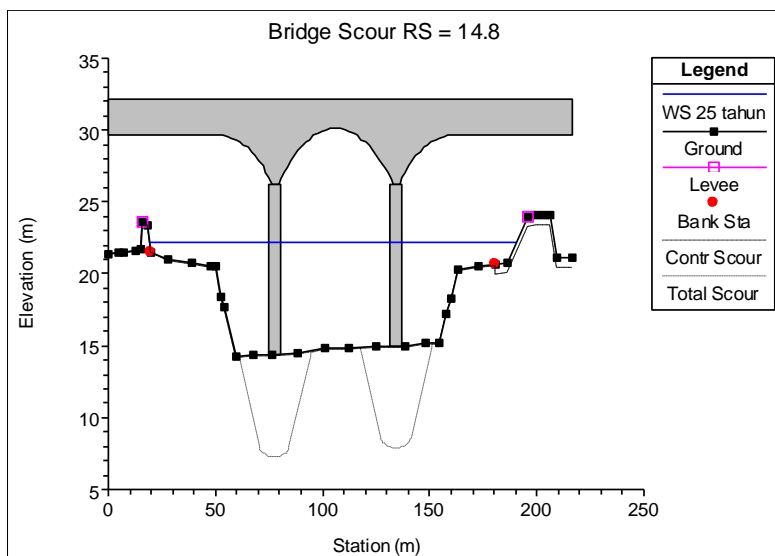
Gambar 4. 27 Total Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 2 Tahun



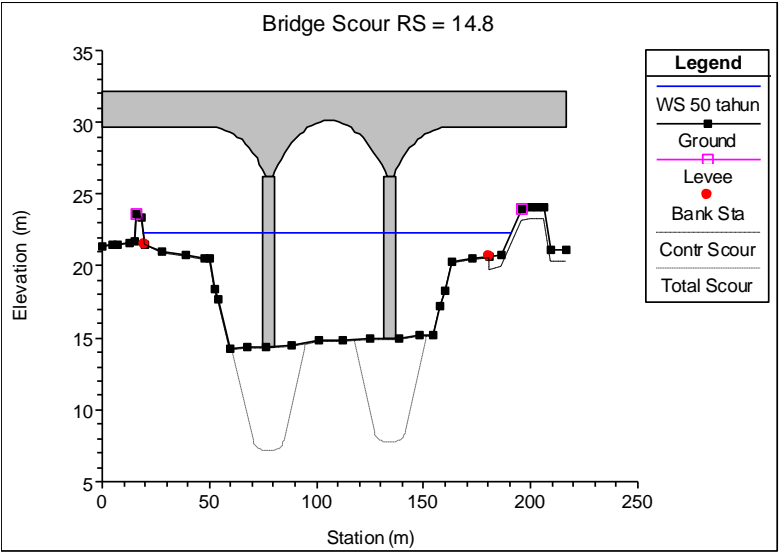
Gambar 4. 28 Total Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 5 Tahun



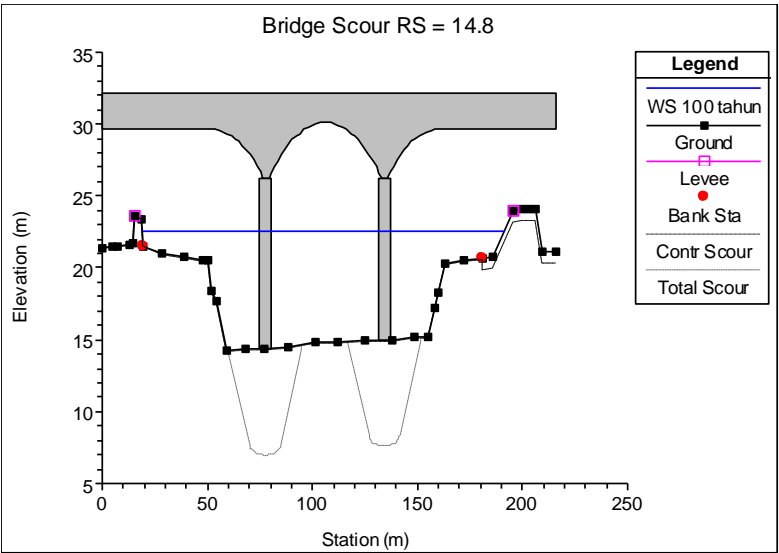
Gambar 4. 29 Total Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 10 Tahun



Gambar 4. 30 Total Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 25 Tahun



Gambar 4. 31 Total Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 50 Tahun



Gambar 4. 32 Total Scour Yang Terjadi dengan Debit Rencana 100 Tahun

Hasil analisa kedalaman *scouring* disajikan dalam Tabel 4.4 di bawah ini.

Tabel 4. 4 Kedalaman *Scouring* terhadap Debit Periode Ulang pada Permodelan Hec-Ras

Periode Ulang	Debit (m ³ /dt)	<i>Scouring</i>		
		<i>Contraction</i> (m)	<i>Pier</i> (m)	Total (m)
2 tahun	1.213,58	0,05	6,28	6,33
5 tahun	1.444,48	0,10	6,53	6,63
10 tahun	1.597,36	0,10	6,73	6,83
25 tahun	1.790,53	0,10	6,97	7,07
50 tahun	1.933,83	0,11	7,13	7,24
100 tahun	2.076,07	0,11	7,29	7,4

Sumber: Program Hec-Ras 5.0.3

4.3.2 Analisa Angkutan Sedimen Antara Dua Penampang Sungai

Analisa angkutan sedimen antara dua penampang sungai dilakukan dengan menggunakan rumus yang diusulkan oleh Neill (1973) untuk mengetahui gerusan antara dua pilar. Caranya adalah dengan menentukan batas kecepatan tidak tergerus (*non-eroding velocity*), yaitu batas kecepatan di mana butiran sedimen tidak bergerak. Dalam perhitungan ini, kecepatan rata-rata yang dihasilkan oleh debit maksimum diasumsikan tidak menghasilkan adanya gerusan. Setelah itu, besarnya *Ucompetent* atau batas kecepatan tidak tergerus dapat ditentukan dari Gambar 2. 12 pada BAB II dengan menggunakan kedalaman air di penampang dan ukuran butir sedimen.

Debit maksimum yang digunakan dalam analisa ini adalah debit periode ulang 100 tahun, yaitu 2.076,07 m³/dt dengan butir sedimen d50 rata-rata berdiameter 0,129 mm. Gerusan akan terjadi apabila Urata-rata lebih besar daripada *Ucompetent*. Tabel 4. 5 menampilkan hasil analisa angkutan sedimen pada setiap penampang sungai.

Tabel 4. 5 Hasil Analisa Angkutan Sedimen dengan Debit 100 tahun

Jarak (m)	River Sta	Max Chnl Depth (m)	Vel Chnl (m/s)	Competent Vel (m/s)	Ket.
1.634,31	48	8,94	1,73	1,7	<i>scouring</i>
1.583,7	47	8,96	1,68	1,7	<i>no scouring</i>
1.533,62	46	9,55	1,75	1,8	<i>no scouring</i>
1.482,74	45	9,04	1,75	1,7	<i>scouring</i>
1.432,63	44	10,36	1,75	1,8	<i>no scouring</i>
1.390,81	43	10,71	1,68	1,8	<i>no scouring</i>
1.347,23	42	10,13	1,67	1,8	<i>no scouring</i>
1.304,97	41	10,16	1,57	1,8	<i>no scouring</i>
1.257,29	40	10,71	1,47	1,8	<i>no scouring</i>
1.209,66	39	10,43	1,41	1,8	<i>no scouring</i>
1.151,98	38	10,16	1,33	1,8	<i>no scouring</i>
1.100,19	37	9,55	1,47	1,7	<i>no scouring</i>
1.046,99	36	9,64	1,53	1,7	<i>no scouring</i>
996,45	35	9,41	1,61	1,7	<i>no scouring</i>
947,57	34	9,32	1,67	1,7	<i>no scouring</i>
898,24	33	9,06	1,78	1,7	<i>scouring</i>
872,91	32	10,91	1,63	1,8	<i>no scouring</i>
845,57	31	9,52	1,77	1,8	<i>no scouring</i>
823,58	30	8,99	1,82	1,7	<i>scouring</i>
803,13	29	9,05	1,92	1,7	<i>scouring</i>
781,31	28	9,59	1,85	1,8	<i>scouring</i>
760,09	27	9,75	1,78	1,8	<i>no scouring</i>
737,98	26	8,58	1,88	1,7	<i>scouring</i>
716,12	25	8,69	1,91	1,7	<i>scouring</i>
697,57	24	8,37	1,96	1,7	<i>scouring</i>
679	23	8,3	1,9	1,7	<i>scouring</i>
660,06	22	8,72	1,91	1,7	<i>scouring</i>
639,16	21	8,64	1,94	1,7	<i>scouring</i>

Tabel 4.5 (lanjutan)

Jarak (m)	River Sta	Max Chnl Depth (m)	Vel Chnl (m/s)	Competent Vel (m/s)	Ket.
619,22	20	8,56	1,95	1,7	<i>scouring</i>
596,7	19	8,56	2,1	1,7	<i>scouring</i>
576,58	18	8,6	2,09	1,7	<i>scouring</i>
555,71	17	8,4	2,08	1,7	<i>scouring</i>
535,33	16	8,25	2,4	1,7	<i>scouring</i>
515,94	15	8,29	2,21	1,7	<i>scouring</i>
522,09	14,8	8,21	2,47	1,7	<i>scouring</i>
493,1	14	8,37	2	1,7	<i>scouring</i>
469,96	13	8,37	1,94	1,7	<i>scouring</i>
486,66	12,3	8,33	2,07	1,7	<i>scouring</i>
444,54	12	9,45	1,9	1,8	<i>scouring</i>
419,14	11	8,15	2	1,7	<i>scouring</i>
393,03	10	8,77	2,04	1,7	<i>scouring</i>
367,9	9	8,14	2,05	1,7	<i>scouring</i>
343,42	8	8,08	2,01	1,7	<i>scouring</i>
319	7	8,61	1,92	1,7	<i>scouring</i>
285,4	6	7,8	1,94	1,6	<i>scouring</i>
253,3	5	7,67	1,92	1,6	<i>scouring</i>
202,27	4	7,96	1,78	1,6	<i>scouring</i>
149	3	7,72	1,86	1,6	<i>scouring</i>
102	2	7,28	1,95	1,6	<i>scouring</i>
57	1	6,48	2,32	1,5	<i>scouring</i>
0	0	4,21	3,36	1,3	<i>scouring</i>

Sumber: Hasil Perhitungan

Pada tabel di atas, kolom jarak menyatakan jarak penampang dari hilir lokasi studi. STA 0 menyatakan titik tinjau hilir dan dari hasil perhitungan yang ditampilkan, dapat diketahui bahwa sebagian besar penampang mengalami gerusan, salah

satunya adalah STA 14,8 yang merupakan penampang jembatan Tol Mojokerto-Kertosono. Hasil analisa ini dapat dijadikan dasar untuk analisa angkutan sedimen.

4.3.3 Perhitungan Analitik Gerusan pada Pilar

Perhitungan gerusan atau *scouring* secara analitik dilakukan dengan menggunakan beberapa rumus, yaitu Garde & Raju, Lacey, dan Neil (1964). Berikut adalah salah satu perhitungan *scouring* dengan debit periode ulang 2 tahun.

Diketahui:

Gs	: 2,59 t/m ³
D50	: 0,129 mm
a	: 5,5 m
Q2	: 1.213,578 m ³
V2	: 1,18 m/s
d	: 7,66 m

1. Garde dan Raju

$$D = \left[\frac{4}{\alpha} \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \left(\frac{U}{\sqrt{gy}} \right)^{n^*} \right] y$$

$$D = \left[\frac{4}{0,965} \cdot 0,684 \cdot 2,45 \cdot 0,5 \cdot 0,83 \cdot \left(\frac{1,18}{\sqrt{9,81 \times 7,66}} \right)^{0,74} \right] \cdot 7,66$$

$$D = 5,29 \text{ m}$$

2. Lacey

$$d = 0,473 \times \left(\frac{Q}{f} \right)^{0,33}$$

$$d = 0,473 \times \left(\frac{1.213,578}{1,76 \times \sqrt{0,129}} \right)^{0,33} = 5,73 \text{ m}$$

3. Neill (1964)

$$\frac{y_s}{y_0} = 1,5 \left(\frac{b}{y_0} \right)^{0,7}$$

$$\frac{y_s}{7,66} = 1,5 \left(\frac{5,5}{7,66} \right)^{0.7}$$

$$y_s = 9,11 \text{ m}$$

Berikut Tabel 4.6 adalah hasil perhitungan untuk debit rencana lainnya.

Tabel 4. 6 Perhitungan Gerusan dengan Analitik

Periode Ulang	Debit (m3/dt)	Kecepatan (m/s)	Garde & Raju	Lacey	Neil	Rata-rata
2	1.213,58	1,18	5,29	5,73	9,11	6,71
5	1.444,48	1,29	6	6,07	9,28	7,12
10	1.597,36	1,34	6,38	6,27	9,39	7,35
20	1.790,53	1,40	6,8	6,46	9,47	7,58
50	1.933,83	1,48	7,33	6,68	9,57	7,87
100	2.076,07	1,53	7,7	6,84	9,65	8,07

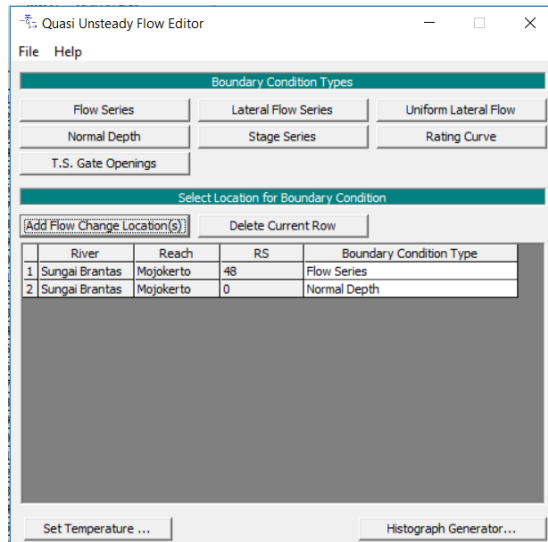
4.4 Analisa Angkutan Sedimen

4.4.1 Permodelan Angkutan Sedimen pada Hec-Ras

Permodelan angkutan sedimen yang dilakukan dalam tugas akhir ini menggunakan pilihan analisa aliran tak permanen-semu atau *quasi-unsteady flow* yang terdapat pada Hec-Ras 5.0.3. Data-data yang akan dianalisa dimasukkan melalui opsi *data editor* pada Hec-Ras, yaitu *quasi-unsteady flow editor* dan *sediment data editor*. Berikut adalah langkah-langkah pengerjaan permodelan angkutan sedimen:

1. Memasukkan data *quasi-unsteady flow*

Pada tampilan pilihan *quasi-unsteady data editor* seperti pada, data yang dapat dimasukkan adalah data debit sebagai batas hulu dan hilir didefinisikan sebagai *Normal Depth* seperti Gambar 4.33 di bawah ini.



Gambar 4. 33 Menentukan Batas Hulu dan Hilir

Kemudian pada pilihan *Flow Series*, data-data yang dimasukkan adalah data debit rata-rata setiap bulan dari bulan Januari 1999 sampai dengan Januari 2011. Karena perhitungan dibuat per bulan maka *Flow Duration* diisi dengan jumlah jam dalam satu bulan. Untuk *Computation Increment* diisi 24 jam, yang artinya adalah simulasi perhitungan akan dihitung setiap 24 jam sekali. Pengisian data debit dapat dilihat pada Gambar 4.34, sedangkan hidrografnya ditunjukkan oleh Gambar 4.35. Sebagai parameter terakhir pada pengisian data untuk permodelan *quasi-unsteady flow*, temperatur dimasukkan sebesar 25° seperti Gambar 4.36.

Flow Series for Sungai Brantas Mojokerto 48

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

☐ Use Simulation Time: Date: 01Jan1999 Time: 0000

☒ Fixed Start Time: Date: 01Jan1999 Time: 0000

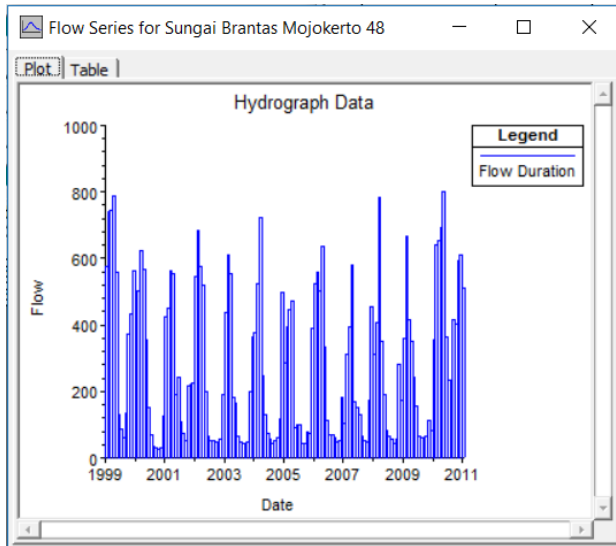
Hydrograph Data

No.	Ordinates	Interpolate Values	Del Row	Ins Row	
	Simulation Time	Elapsed Time (hours)	Flow Duration (hours)	Computation Increment (hours)	Flow (m ³ /s)
1	01Jan1999 0000	744	744	24	576.4839
2	01Feb1999 0000	1416	672	24	738.2143
3	01Mar1999 0000	2160	744	24	745.4839
4	01Apr1999 0000	2880	720	24	787.9
5	01May1999 0000	3624	744	24	557.6774
6	01Jun1999 0000	4344	720	24	131.9
7	01Jul1999 0000	5088	744	24	85.51613
8	01Aug1999 0000	5832	744	24	59.87097
9	01Sep1999 0000	6552	720	24	135.0667
10	01Oct1999 0000	7296	744	24	374.129
11	01Nov1999 0000	8016	720	24	432.1
12	01Dec1999 0000	8760	744	24	563.0645
13	01Jan2000 0000	9504	744	24	419.871
14	01Feb2000 0000	10200	696	24	501.4828
15	01Mar2000 0000	10944	744	24	621.7742
16	01Apr2000 0000	11664	720	24	567.7667
17	01May2000 0000	12408	744	24	354.0645
18	01Jun2000 0000	13128	720	24	153.5
19	01Jul2000 0000	13872	744	24	69.29032
20	01Aug2000 0000	14616	744	24	33.6129
21	01Sep2000 0000	15336	720	24	31.13333
22	01Oct2000 0000	16080	744	24	27.06452
23	01Nov2000 0000	16800	720	24	29.9
24	01Dec2000 0000	17544	744	24	125.8387
25	01Jan2001 0000	18288	744	24	423.6129
26	01Feb2001 0000	18960	672	24	451.75
27	01Mar2001 0000	19704	744	24	561.1935
28	01Apr2001 0000	20424	720	24	553.8333
29	01May2001 0000	21168	744	24	190.7742
30	01Jun2001 0000	21888	720	24	241.2333
31	01Jul2001 0000	22632	744	24	106.5161
32	01Aug2001 0000	23376	744	24	72.03226
33	01Sep2001 0000	24096	720	24	53.4
34	01Oct2001 0000	24840	744	24	218.3548

☐ Compute computation increments based on flow

Plot ... OK Cancel

Gambar 4. 34 Data Flow Series

Gambar 4. 35 Hidrograf dari Data *Flow Series*

Temperature Series

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

☐ Use Simulation Time: Date: 01jan1999 Time: 0000

☒ Use Fixed Start Time: Date: 01jan1999 Time: 0000

Temperature Data

No. Ordinates Interpolate Missing Values Del Row Ins Row

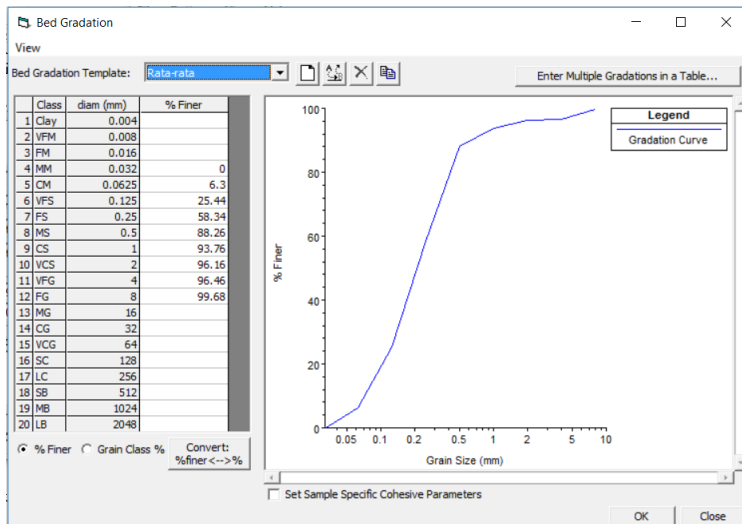
	Simulation Time	Elapsed Time (hours)	Duration (hours)	Temp (C)
1	31Dec1998 2400	744	744	25
2	31Jan1999 2400	1416	672	25
3	28Feb1999 2400	2160	744	25
4	31Mar1999 2400	2880	720	25
5	30Apr1999 2400	3624	744	25
6	31May1999 2400	4344	720	25

OK Cancel

Gambar 4. 36 Memasukkan Data Temperatur

2. Memasukkan data sedimen.

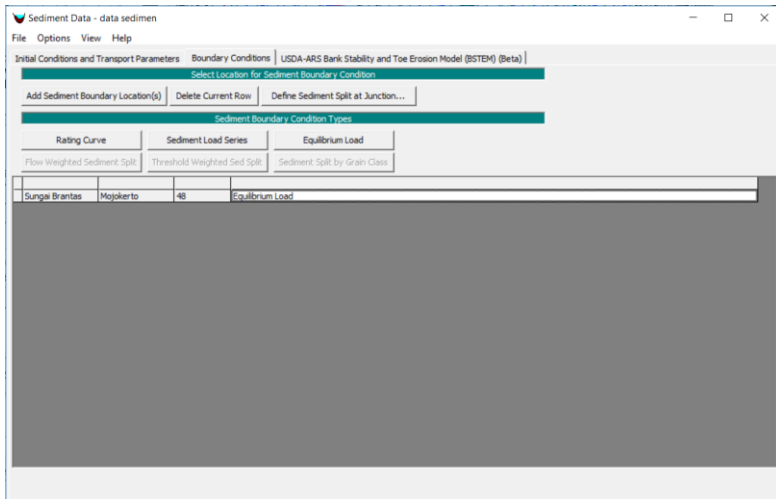
Data sedimen yang tersedia dimasukkan pada *sediment data editor*, gradasi sedimen dari sampel yang ada ditambahkan melalui pilihan *Define/Edit Bed Gradation*. Data yang dimasukkan adalah persentase kumulatif sedimen yang lolos untuk ayakan tertentu. Tampilan untuk memasukkan data sedimen dapat dilihat pada Gambar 4.37.



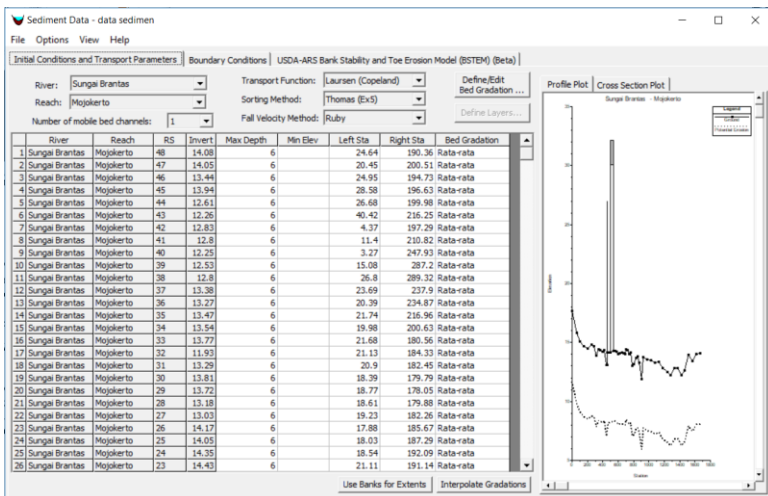
Gambar 4. 37 Memasukkan Data Gradasi Sedimen

Setelah sampel sedimen yang akan didefinisikan telah dimasukkan kemudian data tersebut dimasukkan untuk setiap penampang. Selain itu, pada tampilan *Sediment Data Editor* juga harus menentukan kondisi batas pada model yang dibuat. Kondisi batas tersebut, pada bagian hulu diasumsikan sebagai titik masuknya sedimen yang mengalir bersama dengan debit Sungai Brantas. Dalam pengerjaan tugas akhir ini kondisi batas hulu yang digunakan adalah *Equilibrium Load* seperti Gambar 4.38, yang

mengasumsikan bahwa dalam aliran tersebut tidak terjadi sedimentasi (dalam kondisi seimbang).



Gambar 4. 38 Menentukan Batas Hulu



Gambar 4. 39 Tampilan Sediment Data Editor

Pada Gambar 4.39 di atas, pada kolom *Max Depth* diisi dengan kedalaman maksimum yang diizinkan untuk *volume control* pada bagian atas dasar sungai atau sebaliknya. Kolom *Left Sta* dan *Right Sta* adalah batas kiri dan kanan dari saluran yang didapat dari data *cross section*.

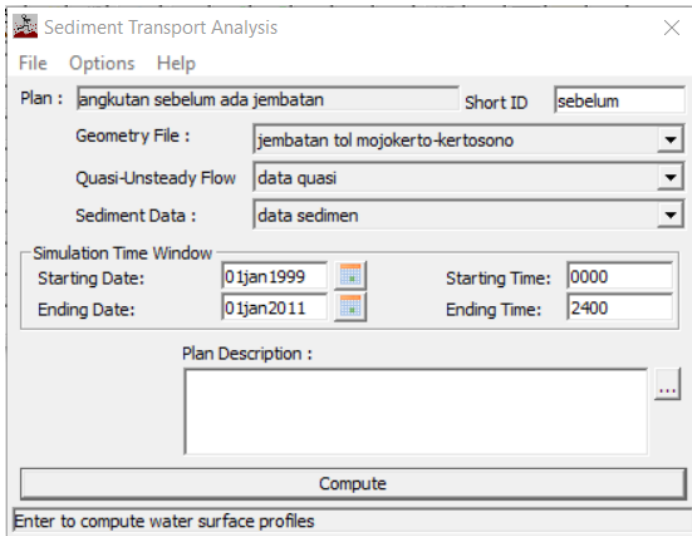
3. Menentukan *Transport Function*.

Analisa angkutan sedimen umumnya sangat sulit untuk dapat dilakukan karena banyaknya faktor yang memengaruhi proses sedimentasi di saluran, terlebih lagi sungai. Perhitungan yang dilakukan pun memiliki keterbatasan dalam hal mengakomodasi kondisi-kondisi di lapangan. Maka dari itu, rumus-rumus yang dibuat untuk menghitung besarnya angkutan sedimen sangat banyak pula, sesuai dengan kondisi lokasi di mana studi dilakukan. Dalam analisa angkutan sedimen, pemilihan *transport function* sangat menentukan kualitas dari perhitungan. Dari beberapa rumus yang disediakan oleh Hec-Ras 5.0.3, dipilih salah satu yang paling sesuai dengan kondisi karakteristik sampel sedimen. Hasil gradasi sedimen di sungai ini menunjukkan karakteristik sedimen yang sebagian besar pasir pada rentang ukuran 0,09 – 0,15 mm dengan berat jenis sebesar $2,59 \text{ t/m}^3$. Kecepatan rata-rata sungai $1,89 \text{ m}^2/\text{s}$, kedalaman rata-rata 8,8 m, kemiringan dasar 0,002. Sehingga, berdasarkan kesesuaian data dari Tabel 12-8 di Hec-Ras Reference Manual, untuk simulasi sedimen pada tugas akhir ini digunakan *transport function* Laursen (Copeland).

4. Menjalankan analisa *quasi-unsteady*.

Setelah menentukan *transport function* pada *Sediment Data Editor*, kemudian analisa sedimen disimulasikan melalui *Run* lalu pilih *Sediment Analysis*. Gambar 4.40

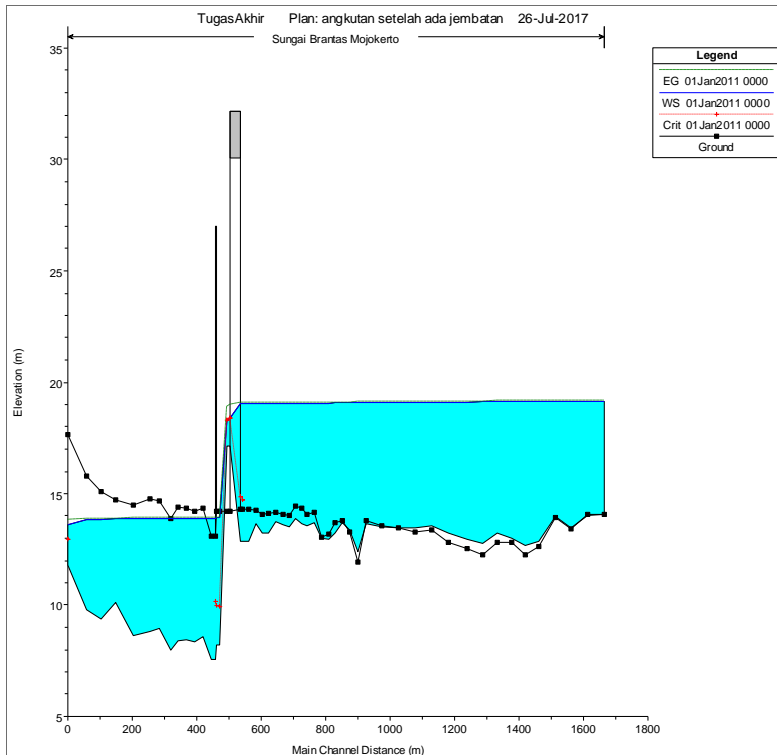
adalah tampilan untuk menjalankan simulasi tersebut. Dari hasil simulasi pada program, akan dianalisa perubahan dasar saluran dan volume *bed change* kumulatif yang terjadi di sepanjang sungai.



Gambar 4. 40 Menjalankan Analisis Angkutan Sedimen

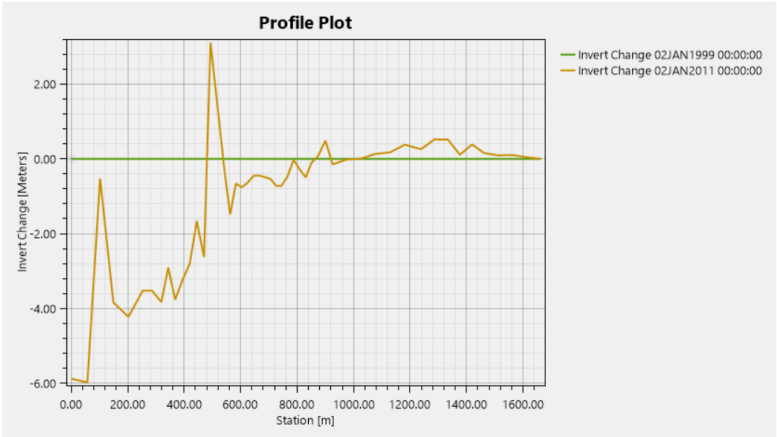
Hasil analisa angkutan sedimen pada Hec-Ras 5.0.3 dapat dilihat pada *Sediment Output* dari *View* di tampilan utama. Dari analisa tersebut menunjukkan bahwa terjadi aggradasi dan degradasi sedimen pada dasar sungai di lokasi studi sepanjang 1.634,31 m atau 1,6 km. Sebelum ada jembatan, degradasi terdalam yang terjadi adalah 5,97 meter dan aggradasi setinggi 3,11 meter, dengan volume angkutan sedimen kumulatif adalah 386.551 m³ serta penurunan dasar sungai rata-rata sebesar 1,03 m. Sedangkan setelah ada jembatan, degradasi yang terdalam adalah 6,00 m dan aggradasi tertinggi adalah 2,97 m, volume angkutan sedimen kumulatif yang

terangkut adalah 569.775 m^3 dengan penurunan dasar sungai rata-rata sebesar 1,51 m.

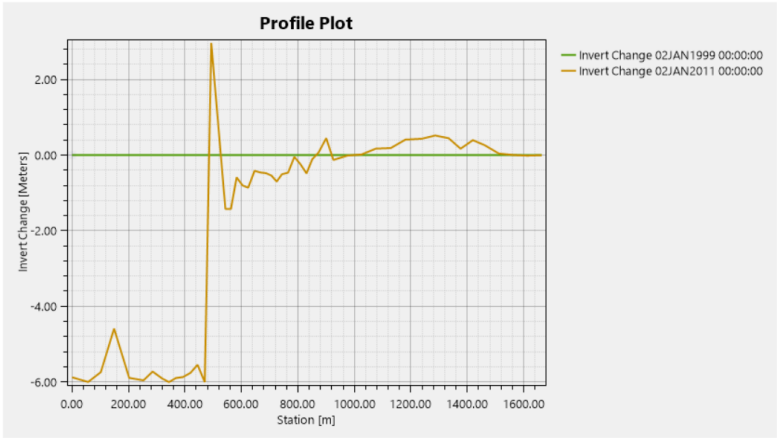


Gambar 4. 41 Hasil Analisa Angkutan Sedimen pada Profil Memanjang

Seperti hasil analisa angkutan sedimen untuk gerusan pada Tabel 4.5, dapat diketahui bahwa perubahan dasar sungai menunjukkan hal yang sama, yaitu terjadinya gerusan di sebagian besar penampang yang ditunjukkan oleh Gambar 4.41 di atas. Sedangkan perubahan dasar sungai untuk profil memanjang pada kondisi sebelum dan setelah adanya jembatan ditampilkan oleh Gambar 4.42 dan Gambar 4.43 di bawah ini.



Gambar 4. 42 Perubahan Dasar Sungai Sebelum Ada Jembatan



Gambar 4. 43 Perubahan Dasar Sungai Setelah Ada Jembatan

4.4.2 Perhitungan Analitik Konsentrasi Angkutan Sedimen

Konsentrasi angkutan sedimen dasar dihitung menggunakan rumus Laursen. Debit air yang digunakan adalah debit air bulanan rata-rata dari data yang tersedia, sedangkan kedalaman yang digunakan dari hasil analisa Hec-Ras. Berikut adalah contoh perhitungan untuk penampang A29 yang berada di sta 48.

Diketahui:

- D50 : 0,129 mm
- S : 0,002
- Suhu : 25°C
- B : 89 m
- Q : 576,8 m³/dt
- γ_s : 2,59 t/m³
- γ : 1 t/m³
- g : 9,81 m/s²

Langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

Hal yang perlu diperhatikan adalah perhitungan analitis ini menggunakan satuan US *Customary*.

Kecepatan jatuh diperoleh dari grafik hubungan diameter butiran dengan kecepatan jatuh. Untuk diameter 0,129 mm, suhu air 25C, dan *shape factor* diasumsikan 0,7 karena pasir alami maka diperoleh kecepatan jatuh= $\omega = 27 \text{ cm/s} = 0,27 \text{ m/s} = 0,886 \text{ ft/s}$.

Kedalaman rata-rata penampang diperoleh dari trial dan eror sehingga diperoleh nilai koefisien Manning sesuai dengan data yaitu 0,03. Koefisien manning tersebut dihitung dengan persamaan

$$n = \frac{R^{2/3} \cdot S^{1/2}}{V}$$

Di mana

$$R = \frac{A}{P} = \frac{(b + mh)h}{b + 2h \sqrt{m^2 + 1}}$$

dicoba nilai kedalaman rata-rata $D=h= 3,075 \text{ m} = 10,088 \text{ ft}$

Luas penampang basah $A = (b + mh)h = 3047,264$

Keliling basah $P = b + 2h\sqrt{m^2 + 1} = 320,527$

Jari-jari hidrolis, $R = 9,507$

Kecepatan rata- ft/s, $V = 6,681 \text{ ft/s}$

Keofisien Manning = 0,03 (OK)

Kecepatan geser $U_* = \sqrt{g \cdot D \cdot S}$

$$= \sqrt{9,81 \times 3,075 \times 0,002} = 0,806 \text{ ft/s}$$

Angka Reynold, $Re = 31,684$

$$\text{Tegangan geser } \tau' = \frac{\rho V^2}{58} \left(\frac{d_{50}}{D} \right)^{1/3} = 1,669 \text{ lb/ft}^2$$

Tegangan geser kritis diperoleh dari diagram Shield dengan berdasarkan pada besar angka Reynold. Dari grafik tersebut terlebih dahulu didapatkan nilai dimensionless shear stress (τ_*), sehingga tegangan geser kritis dapat dihitung.

Untuk $Re = 31,684$ diperoleh besar $\tau_* = 0,035$, maka tegangan geser kritis $\tau_c = \tau_*(\gamma_s - \gamma) \cdot d_{50}$

$$= 0,00147$$

Konsentrasi sedimen

$$C_t = 1.067 \text{ ppm}$$

Debit muatan sedimen per satuan lebar penampang

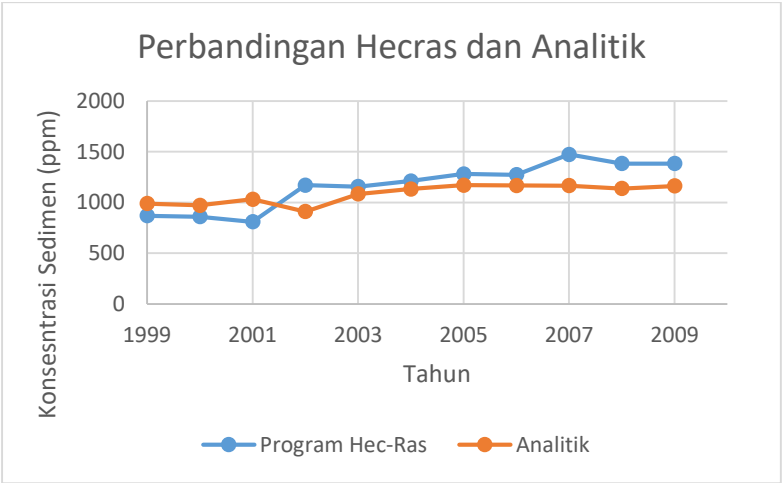
$$qs = q \times Ct = 0,494 \times 2,217 = 1,096 \text{ kg/s /m Debit muatan sedimen}$$

$$Qs = qs \times B = 1,096 \times 145 = 158,85 \text{ kg/s}$$

Hasil perhitungan analitik ini kemudian dibandingkan dengan hasil yang didapatkan pada simulasi sedimen di Hec-Ras, dan menunjukkan hasil yang saling berdekatan, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.44.

Tabel 4. 7 Perbandingan simulasi Hec-Ras dan Analitik

Tahun	Hec Ras	Analitik
1999	868,29	988,48
2000	859,72	972,00
2001	808,58	1.031,96
2002	1.170,17	909,53
2003	1.155,70	1.083,19
2004	1.211,98	1.132,91
2005	1.281,38	1.170,43
2006	1.272,59	1.167,79
2007	1.473,36	1.165,6
2008	1.383,83	1.137,51
2009	1.383,29	1.162,43
2010	2.391,99	1.073,44



Gambar 4. 44 Grafik Perbandingan Analisa Hec-ras dan Analitik

BAB 5

KESIMPULAN

Berdasarkan studi yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Besar debit aliran rencana di sungai Brantas untuk 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun secara berturut-turut adalah $1.213,578 \text{ m}^3/\text{dt}$, $1.444,483 \text{ m}^3/\text{dt}$, $1.597,362 \text{ m}^3/\text{dt}$, $1.790,525 \text{ m}^3/\text{dt}$, $1.933,825 \text{ m}^3/\text{dt}$, $2.076,066 \text{ m}^3/\text{dt}$.
2. Hasil analisa angkutan sedimen pada Hec-Ras menunjukkan bahwa terjadi aggradasi dan degradasi sedimen pada dasar sungai. Sebelum ada jembatan, degradasi terdalam yang terjadi adalah 5,97 meter dan aggradasi setinggi 3,11 meter, dengan volume angkutan sedimen kumulatif adalah 386.551 m^3 serta penurunan dasar sungai rata-rata sebesar 1,03 m. Sedangkan setelah ada jembatan, degradasi yang terdalam adalah 6,00 m dan aggradasi tertinggi adalah 2,97 m, volume angkutan sedimen kumulatif yang terangkut adalah 569.775 m^3 dengan penurunan dasar sungai rata-rata sebesar 1,51 m.
3. Berdasarkan hasil permodelan, dapat diketahui jika keberadaan jembatan memberikan pengaruh terhadap angkutan sedimen yang terjadi pada sungai di sekitarnya. Pada tugas akhir ini, adanya jembatan tol Mojokerto-Kertosono memberikan pengaruh pada angkutan sedimen.
4. Dari analisa pada permodelan Hec-Ras, dapat diketahui bahwa pilar jembatan menyebabkan terjadinya gerusan lokal. Kedalaman gerusan yang terjadi pada debit rencana 100 tahun adalah 7,4 m yang mendekati perhitungan analitik dengan kedalaman rata-rata didapat 8,07 m.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR PUSTAKA

Breusers, H.N.C dan Raudkivi, A.J. 1991. *Scouring*. Netherlands: A.A. Balkema.

Bruner, Gary W. 2016. *HEC-RAS 5.0 Applications Guide*. Davis: US Army Corps of Engineers.

Bruner, Gary W. 2016. *HEC-RAS 5.0 Reference Manual*. Davis: US Army Corps of Engineers.

Bruner, Gary W. 2016. *HEC-RAS 5.0 Users Manual*. US Davis: Army Corps of Engineers.

Das, Braja M. dan Sobhan, Khaled. 2014. *Principles of Geotechnical Engineering 8th Edition*. United States of America: Global Engineering.

Jansen, P. Ph. dkk. 1979. *Principles of River Engineering: the non-tidal alluvial river*. Delft: Delftse U.M.

Pemberton, Ernest L. dan Lara, Joseph M. 1984. *Computing Degradation and Local Scour*. Colorado: Bureau of Reclamation Engineering and Research Center.

Raudkivi, Arved J. 1998. *Loose Boundary Hydraulics*. Netherlands: A.A. Balkema.

Yang, Chih Ted. 1996. *Sediment Transport: Theory and Practice*. Singapore: McGraw Hill.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Penampang Sungai

Lampiran 2. Jarak Antarpemampang, Data Penampang Jembatan,
Data Pilar

Lampiran 3. Perhitungan Konsentrasi Sedimen

Lampiran 4. Plan Jembatan, Potongan Melintang Jembatan

Halaman ini sengaja dikosongkan.

Lampiran 1.

A.29		A.28		A27		A26		A25		A24		A23		A22		A21		A20	
station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation
0	21.3		21.52	0	21.35	0	21.53	0	21.59	0	18.13	0	23.82	0	23.29	0	23.24	0	24.93
2.32	21.46	1.91	21.5	3.25	21.45	4.17	21.59	3.86	21.66	22.94	21.51	1.67	23.47	4.48	23.29	3.27	21.36	7.11	24.19
9.63	21.84	9.15	21.72	10.33	21.71	11.49	21.77	11.25	22.05	30.6	21.98	4.37	21.34	8.17	21.23	13.62	20.88	10.21	22.83
14.44	24.11	13.76	23.94	12.45	22.89	15.34	24.11	15.24	24.17	35.11	24	9.69	20.68	11.4	20.59	25.97	20.22	15.08	20.95
17.22	23.1	17.99	23.28	15.56	24.06	17.46	23.2	17.7	23.14	36.45	24.15	12.14	20.3	13	20.19	42.45	20.08	23.64	20.76
21.6	23.07	19.76	21.13	18.02	22.96	21.39	22.98	22.3	22.83	39.14	23.46	23.78	20.6	24.38	19.99	52.72	20.02	37.37	21.29
22.84	23	20.45	21.07	21.71	22.57	28.58	20.79	26.68	20.9	40.42	21.76	39.75	20.17	46.19	20.17	76.97	20.49	42.16	20
24.64	21.06	30.84	21.08	24.95	21.38	41.62	20.42	38.36	20.35	44.45	20.7	46.71	20.02	57.76	20.22	79.76	18.64	73.1	20.17
32.15	20.79	33.54	20.07	27.3	20.76	44.29	20.08	45.99	20.38	56.32	20.29	49.15	18.83	59.91	18.6	82.62	18.34	106.6	20.37
33.45	20	35.84	20	33.49	20.74	46.14	18.21	50.2	20.03	71.06	20.49	51.46	18.2	62.05	18.24	84.79	17.04	111.76	18.49
35.35	18.21	38.37	18.27	35.24	20.29	48.32	16.7	52.37	18.57	78.59	20.25	53.44	17.57	63.86	17.65	91.04	16.64	115.31	18.27
38.55	17.27	41.22	17.09	38.05	18.23	55.82	15	56.18	18.78	80.83	20.2	60.35	15.66	67.33	16.15	103.25	15.06	117.18	17.29
44.15	16.08	46.22	16.3	41.33	17.49	70.09	14.47	58.48	17.28	82.13	18.19	74.02	14.33	78.52	14.74	117.12	14.01	125.67	14.59
49.71	15	51.22	15	51.17	16.26	79.08	14.06	62.52	15.68	85.15	16.86	86.79	13.83	89.18	14.45	133.25	12.93	135.32	14.23
52.14	14.45	54.42	17.75	62.62	14.44	93.94	14.04	73.35	14.38	91.35	15.21	101.54	14.13	102.14	13.29	148.08	12.25	148.28	12.93
64.84	15.02	69.56	14.85	78.34	14.65	105.13	14.34	101.13	13.85	102.24	14.46	118.53	13.3	117.08	12.83	161.48	12.28	165.26	12.88
78.09	14.61	84.7	14.98	91.22	14.48	115.29	14.54	117.34	14.13	114.97	14.14	132.19	12.83	131.1	12.94	175.49	12.82	177.34	12.53
91.42	14.56	97.72	14.39	107.51	14.67	127.98	14.24	132.08	12.61	126.07	13.46	145.05	12.86	143.2	12.8	187.57	13.49	197.97	13.02
104.61	14.08	109.72	14.35	121.17	14.34	141.05	13.94	147.29	12.68	136.09	12.26	158.63	14.52	156.04	12.92	197.58	17.04	211.54	14.23
116.54	14.12	127.66	14.18	135.96	14.19	152.98	14.12	160.87	13.65	150.22	13.25	167.75	16.78	165.99	13.3	199.77	18.24	223.13	17.08
127.54	14.2	137.21	14.14	146.99	13.44	163.99	14.62	169.98	17.58	162.05	13.49	169.48	18.25	176.71	16.72	205.11	20.38	234.33	18.24
141.68	14.09	149.88	14.05	159.51	13.48	171.87	16.89	173.25	18.17	175.04	13.96	171.07	14.43	178.83	18.86	224.03	20.05	240.15	20.23
154.94	14.9	161.38	14.8	170.74	18.25	173.83	18.27	176.48	20.78	182.21	13.26	172.66	20.44	181.59	20.19	240.27	19.86	257.38	20.16
156.86	15	171.5	14.85	172.74	20.23	176.41	19.75	194.22	20.48	193.19	13.96	189.03	20.38	194.87	19.93	242.87	20.72	272.26	20.03
161.46	16.91	177.92	16.75	183.74	20.85	178.63	20.6	199.98	20.86	199.16	16.7	191.12	20.8	210.82	20.05	247.93	21.54	273.9	20.61
171.41	17.01	180.31	18.23	194.73	20.94	185.92	20.91	202.67	22.55	202.27	18.23	197.29	21.07	217.65	22.26	250.85	22.7	287.2	21.05
173.79	18.23	182.75	19.66	196.87	22.19	196.63	21.04	205.97	22.7	205.11	20.43	199.74	21.06	221.34	22.97	254.45	23.43	289.28	22.82
177.34	19.07	184.22	20.8	200.19	23.25	198.65	22.43	210.43	24.38	216.25	20.86	206.5	23.16	230.09	24.2	258.91	24.31	293.24	24.18
179.61	20	193.78	20.78	201.76	24.49	201.27	22.25	212.68	23.1	224.18	20.45	208.62	23.61	235.02	23	262.72	23.03	297.86	23.95
180.41	20.55	200.51	21.23	206.55	23.25	203.89	24.34	216.53	23.03	227.4	22.33	210.22	24.28	238.39	22.94	265.96	22.92	301.42	22.87
188.77	20.46	201.43	22.37	210.08	23.18	208.43	23.26	221.25	20.84	230.62	22.67	215.29	23.07	243.03	20.44	270.65	21	305.51	22.1
190.36	20.66	204.02	22.82	213.49	21.21	212.28	23.15	226.35	20.69	233.65	24.31	218.53	23.04	248.57	20.35	275.32	21	306.63	21.04
193.02	22.89	206.25	24.42	220.07	20.72	221.67	21.25			240.02	23.02	224.43	20.85					311.67	21.04
195.66	23.33	211.08	23.27							241.85	22.98	229.83	21.24						
197.88	24	214.34	23.13							247.22	20.86								
198.81	24.54	219.76	21							251.83	20.6								
200.81	24	233.98	20.82																
209.14	23.2																		
212.57	23.07																		
216.24	21.17																		
220.93	28.87																		

Lampiran 1. (lanjutan)

A19		A18		A17		A16		A15		A14		A13		A12		A11		A10	
station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation
0	20.36	0	23.95	0	21.67	0	21.76	0	21.41	0	21.34	0	21.36	0	21.4	0	21.41	0	21.42
26.8	20.54	3.21	23.52	3.26	21.67	2.93	21.76	2.74	21.41	3.09	21.34	2.67	21.36	2.4	21.4	6.65	21.57	6.64	21.53
41.79	20.4	6.49	21.28	9.77	21.84	9.1	21.8	9.52	21.63	9.88	21.49	8.89	21.59	8.53	21.56	11.43	23.91	10.25	23.86
44.39	19.73	10.31	18.95	13.92	23.94	12.13	23.89	13.59	23.88	14.42	23.87	13.46	24.07	14.55	23.9	13.47	23.92	12.22	23.85
70.84	19.87	23.69	19.91	16.82	23.65	14.51	23.87	15.57	23.91	17.31	23.76	16.16	24.02	16.25	23.62	15.12	22.44	14.46	22.1
103.98	19.82	44.96	20.02	20.39	21.07	16.16	22.79	17.58	22.36	19.31	22.31	18.26	22.28	18.55	22.13	18.39	21.66	18.77	20.98
109.82	19.32	55.22	20.29	29.17	19.98	18.67	22.4	19.98	21.32	21.68	21.85	21.13	21.78	20.9	21.78	21.84	18.63	20.82	18.22
115.61	18.22	66.08	18.73	40.49	20.31	21.74	20.61	23.27	20.61	23.21	22.75	25.29	18.23	22.76	20.73	24.69	16.98	22.68	17.38
118.52	17.43	68.73	17.13	56.28	20.06	32.62	20.1	33.55	19.73	25.4	20.18	27.69	17.59	24.48	18.24	29.98	15.68	29.14	15.54
126.15	15.25	77.84	14.89	60.63	19.65	43.24	19.81	35.31	18.17	27.67	18.96	34.58	15.98	26.37	17.14	36.78	15.16	40.58	14.72
135.96	14.08	91.17	14.23	65.68	18.25	46.74	19.22	38.03	16.34	29.52	18.25	46.03	14.93	33.37	15.53	48.96	14.65	52.95	14.51
147.98	13.77	105.58	13.81	68.06	17.07	49.78	19.25	50.47	14.79	31.91	17.85	61.66	14.43	43.4	14.94	64.6	14.63	70.42	14.26
164.29	13.26	122.35	13.38	75.62	15.92	51.55	18.25	64.52	14.28	35.89	16.13	82.11	15.02	57.85	14.44	81.69	14.83	87.11	15.02
180.25	13.05	141.14	13.68	89.89	14.69	53.77	16.84	80.08	14.52	47.1	14.85	95.66	15.18	73.73	14.79	98.56	14.82	99.09	15.11
193.77	12.8	155.07	13.8	107.46	14.37	60.58	15.29	100.84	14.83	57.63	14.64	109.12	15.28	91.39	15.18	115.97	13.81	116.31	15.2
207	13.23	164.81	13.73	125.69	13.27	73.38	15.13	118.43	15	74.99	14.6	127.26	14.53	106.82	15.24	130.09	14.05	129.02	13.72
219.41	13.059	176.21	14.26	149.99	13.66	92.52	14.29	136	14.74	87.17	15.05	138.79	13.13	125.63	13.29	143.15	14.43	136.84	15.62
230.51	17.17	186.69	16.23	171.28	14.2	109.59	14.64	150.38	13.54	104.19	15.17	150.78	11.93	138.05	13.44	154.52	16.52	149.91	17.48
232.84	18.24	189.53	18.23	184.66	15	126.26	14.02	163.79	15.11	118.35	13.77	163.6	13.28	151.28	14.39	157.45	18.27	151.3	18.09
235.89	19.79	192.18	18.99	196.2	16.84	140.42	14.29	174.89	17.24	138.31	14.14	173.85	16.78	162.18	16.78	160.21	19.94	152.72	20.18
245.97	20.35	195.25	19.56	197.97	18.78	159.72	13.47	177.44	18.24	152.16	15.85	176.54	18.15	164.33	18.24	162.96	20.67	168.82	20.53
261.64	19.81	209.44	19.8	201.91	19.81	170.88	15	180.13	18.71	166.15	16.77	178.56	20.59	166.01	19.46	179.79	20.88	178.05	20.81
275.44	19.82	225.78	19.76	222.38	19.81	180.85	15.94	182.02	20.19	172.99	18.26	184.33	20.76	168.27	20.51	180.97	22.26	182.66	22.15
279.89	20.68	237.9	20.55	234.87	20.32	184.45	17.45	196.24	20.15	178.03	19.76	187.75	22.64	182.45	21.15	185.79	24.08	186.05	24.07
289.32	20.84	241.74	22.23	239.25	22.24	186.43	18.23	200.63	20.85	180.56	20.47	190.01	24.07	184.33	22.35	190.68	22.98	190.24	22.9
291.92	22.65	245.72	22.67	242.51	22.24	189.89	19.66	202.66	22.82	188.98	22.24	194.54	22.86	186.18	23.42	193.62	22.88	193.16	22.85
295.05	23	248.35	24.2	245.53	22.82	211.13	19.9	205.33	24.01	191.52	24.03	197.23	22.74	190.21	24.22	195.64	22.87	195.24	22.71
297.42	24.24	253.09	22.85	246.35	24.07	216.96	20.45	210.24	22.62	193.83	22.85	199.89	22.76	192.97	22.91	196.97	21.85	204.01	21.22
301.48	22.9	256.07	22.8	249.67	22.71	220.25	23.37	213.35	22.42	198.62	22.71	201.31	21.45	195.9	22.85	200.05	20.35		
304.46	22.82	258.99	22.71	252.73	22.66	223.47	24.07	215.47	22.47	201.79	22.6	203.49	20.7	198.33	22.8	205.03	20.14		
309.92	20.78	260.66	20.49	255.83	22.65	227.51	22.74	216.51	21.05	204.18	21.09	207.93	20.7	200.66	21.74				
313.06	20.51	264.64	20.49	257.55	20.4	230.73	22.64	222.18	20.19	205.39	20.56			201.81	21.34				
				261.36	20.4	233.37	22.5							207.55	21.14				
						235.11	21.4												
						239.88	20.23												

Lampiran 1. (lanjutan)

A9		A8		A7		A6		A5		A4		A3		A2		A1		A0	
station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation
0	21.34	0	21.5	0	21.46	0	21.61	0	21.63	0	21.31	0	21.4	0	21.39	0	21.4	0	21.09
6.37	21.51	6.57	21.6	2.45	21.45	3.84	21.55	3.72	21.59	4.63	21.53	6.29	21.5	3.23	21.39	6.47	21.43	5.13	21.45
10.39	23.83	10.86	23.77	8.47	21.54	9.07	21.61	8.23	21.68	9.99	21.59	12.2	23.95	8.92	21.51	12.89	21.54	8.68	21.47
12.64	23.79	12.61	22.82	13.27	23.84	13.34	23.79	12.92	23.75	14.64	23.7	15.27	22.43	12.52	23.82	17.35	23.83	14.82	21.54
14.59	22.14	14.01	22.95	16.02	22.98	15.23	23.77	14.69	23.75	16.04	23.73	16.68	22.19	17.29	22.48	21.5	22.62	20.15	24.16
18.61	20.68	19.23	21.2	17.88	21.48	18.03	21.45	16.28	22.77	18.79	22.45	18.82	21.01	19.79	22.11	23.58	22.31	22.81	22.72
21.98	18.19	21.08	20.64	20.64	20.87	27.35	20.37	18.54	21.18	21.11	20.91	22.79	20.69	21.19	21.2	25.78	20.86	25.03	22.49
24.04	17.06	22.87	20.18	24.05	20.65	29.29	18.24	27.62	20.53	24.16	20.68	25.29	18.32	23.15	20.75	29.38	20.21	26.88	20.75
30.07	15.53	24.08	18.23	26.73	18.77	31.49	16.84	30.43	18.38	27.45	19.56	27.79	17.57	26.67	20.33	32.36	18.25	31.62	20.58
39.68	15.08	26.49	16.85	28.63	16.97	36.95	15.69	31.65	18.2	29.41	18.14	32.18	15.56	28.26	18.31	33.33	17.81	34.47	18.33
56.55	14.23	39.91	15.68	38.39	15.7	38.48	15.1	35.59	17.78	31.29	16.7	43.11	14.68	29.78	17.4	39.14	16.08	35.99	17.57
76.55	14.23	44.71	15.13	51.15	14.91	59.56	14.64	40.04	15.55	44.45	14.7	53.62	14.68	31.38	15.98	47.44	15.03	39.41	15.71
92.82	15.18	54.97	14.63	66.65	14.64	70.45	14.63	51.14	14.9	56.78	14.59	64.18	14.25	35.67	14.92	60.76	14.75	48.05	14.94
110.06	15.23	66.87	14.11	82.85	14.52	83.18	14.6	64.69	14.61	70.19	14.46	77.98	14	50.43	14.62	76.16	14.31	55.94	14.75
123.17	14.93	78.54	14.53	99.42	15.17	97	14.92	79.23	14.35	81.72	14.43	90.57	14.67	61.11	14.12	91.21	14.52	64.85	14.28
136.75	13.18	92.76	13.93	117.24	15.1	110.02	15.29	94.11	14.83	97.76	14.99	100.89	14.99	71.92	14.07	106.93	15.02	76.49	14.1
149.46	16.13	107.88	14.88	134.56	14.72	122.93	15.24	108.44	15.1	112.23	15.2	111.45	15.06	82.18	14.37	124.52	14.14	90.61	14.63
152.59	18.26	120.25	15.18	143.75	14.17	134.49	14.64	122.27	15.19	127.23	15.15	122.79	15.06	95.99	14.84	138.79	15.13	105.15	15.04
156.11	20.25	132.11	14.48	156.48	16.27	146.03	14.05	136.6	15.2	136.01	15.12	135.69	15.23	105.54	15.06	151.59	15.34	120.86	15.08
162.06	20.33	141.39	13.73	159.26	18.21	155.09	16.99	147.04	14.45	150.55	15.2	144.78	15.5	117.07	15.2	158.24	17.3	132.28	14.99
177.76	20.43	149.03	13.03	163.04	20.21	157.43	18.24	154.75	17.45	156.5	16.9	152.6	16.81	127.74	15.13	160.29	18.34	141.13	15.53
179.88	20.82	156.55	16.13	175.4	20.51	162.2	20.2	157.58	18.22	159.04	18.2	154.65	18.32	137.89	15.26	163.32	19.89	149.37	17.19
181.38	22.01	159.5	18.23	185.67	20.66	171.75	20.2	160.89	20.45	162.52	19.94	157.88	20.03	145.8	15.8	167.23	20.62	151.53	18.33
184.68	22.34	163.09	19.87	189.96	23.1	183.61	20.46	165.05	20.6	168.16	20.28	173.69	20.51	155.18	16.49	177.8	20.96	155.03	20.65
187.45	24	171.96	20.26	194.07	23.96	187.29	22.69	166.55	20.01	182.41	20.67	184.38	21.04	157.33	18.32	188.16	21.13	163.53	20.66
191.8	22.91	182.26	20.5	198.46	24.83	195.51	22.71	180.12	20.47	191.14	21.1	187.13	22.06	159.39	19.5	191.79	21.75	179.94	20.92
195.76	22.78	187.26	22.33	201.42	22.75	199.19	22.9	183.55	21.43	193.02	22.2	188.69	22.64	161.83	20.04	193.55	22.58	191.45	21.19
197.65	22.78	190.32	23.98	203.89	22.66	201.22	22.87	192.09	21.87	195.08	22.89	191.57	23.98	172.36	20.65	195.93	23.91	193.46	22.32
199.44	22.04	194.09	22.89	208.77	22.61	204.41	22.7	194.46	22.98	196.82	23.99	194.12	24.11	186.48	22.28	198.88	24.02	195.34	22.75
202.93	20.69	197.87	22.7	210.2	20.55	207.17	22.66	196.08	23.99	200.94	22.84	196.63	22.9	190.61	22.45	201.08	24.91	198.07	23.89
207.08	20.54	200.04	22.73	212.49	20.55	207.85	21.66	200.7	22.83	204.63	22.78	199.45	22.8	192.79	23.88	204.03	22.87	201.53	22.98
		201.45	21.87			211.76	20.83	203.76	22.74	206.87	22.6	201.76	22.82	194.67	24.17	206.72	22.8	204.55	22.88
		205.32	20.77			215.62	20.58	205.94	22.7	207.91	21.4	202.63	21.04	197.38	22.88	207.67	21.9	207.14	22.65
		208.9	20.22					206.63	21.5	212.99	21.4	211.95	20.6	200.42	22.77			208.34	20.75
								211.43	21.5					202.89	22.83				
														203.98	21.54				
														214.06	20.74				

Lampiran 1. (lanjutan)

P1		P2		P3		P4		P5		P6		P7		P8		P9		P10	
station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation
0	21.39	0	21.42	0	21.41	0	21.4	0	21.52	0	21.25	0	21.02	0	21.07	0	21.2	0	21.24
5.39	21.43	5.52	21.46	5.52	24.47	5.13	21.47	4.45	21.52	5.64	21.59	3.03	21.11	11.37	21.56	5.86	21.53	3.31	21.42
9	21.4	8.81	21.5	8.24	21.43	7.04	21.45	5.85	21.53	11.34	21.75	11.06	21.57	15.83	21.77	12.34	21.66	9.08	21.57
14.97	21.49	14.27	21.52	14.14	21.57	12.82	21.64	12.63	21.67	15.59	23.91	16.59	21.62	21.22	23.67	15.57	22.29	12.81	22.32
19.22	23.68	16.87	23.03	15.66	21.61	14.85	21.67	14.49	21.7	20.14	22.4	20.57	23.67	23.45	23.68	17.79	23.62	14.68	23.47
21.82	23.76	19.66	23.51	16.48	23.58	15.58	23.56	15.16	23.7	21.81	21.07	22.46	23.67	25.33	22.37	19.94	23.52	17.06	23.42
23.91	22.66	21.3	23.34	19.27	23.36	18.32	23.36	20.48	23.39	27.45	21.13	27.04	21.21	27.6	21.14	22.36	22.37	18.59	22
25.97	20.92	22.89	21.31	21.11	21.21	19.87	21.54	21.94	22.4	29.53	20.35	30.55	20.52	29.96	20.97	25.39	21.15	24.49	21.52
31.33	20.92	30.31	21.06	33.08	20.91	28.19	21.01	23.07	21.12	31.61	18.34	32.12	18.36	33.19	18.24	29.31	20.28	26.81	20.49
35.49	18.31	39.51	20.41	46.74	20.45	39.22	20.73	26.13	21.1	32.55	17.89	34.17	17.45	34	17.59	30.38	18.25	28.71	18.22
36.52	17.45	42.14	18.35	49.62	20.54	48	20.53	28.72	21.27	37.37	15.69	46.24	13.09	38.38	17.29	32.34	17.58	30.02	17.53
39.99	15.62	43.81	17.71	52.19	18.35	50.38	20.53	35.24	18.37	48.51	14.29	54.27	13.95	49.03	14.38	41.17	14.9	36.18	16.88
51.34	14.7	51.05	14.24	53.22	17.49	52.24	18.34	36.43	17.64	51.78	14.19	63.57	13.69	61.83	14.36	55.26	14.21	46.3	16.2
62.89	14.58	62.85	14.32	55.97	15.11	54.22	17.63	42.22	15.29	64.69	14.39	73.05	14.29	76.63	14.49	70.81	14.35	57.35	14.43
77.51	14.42	76.57	14.38	63.9	14.3	59.42	14.29	50.64	14.49	85.97	14.41	85.78	14.34	90.11	14.55	84.08	14.54	74.42	14.34
93.29	14.74	93.37	14.83	77.7	14.45	68.07	14.36	62.88	14.19	96.2	14.67	99.05	14.49	109.72	14.48	100.15	14.88	89.62	14.48
108.24	14.86	105.59	15.03	94.51	15.04	76.78	14.32	76.57	14.44	113.36	14.5	115.34	14.56	124.38	14.73	115.68	14.67	103.49	14.86
126.49	14.05	116.37	15.06	108.68	14.96	88.07	14.51	94.56	14.66	128.07	14.74	127.43	14.69	135.37	14.73	130.96	14.88	118.04	14.68
138.13	14.96	127.39	14.94	125.17	14.91	101.28	14.79	107.01	14.91	138.37	15.13	139.42	14.83	148.13	14.84	144.31	15.08	133.55	14.94
147.09	16.86	138.09	14.9	139.27	15.19	112.37	14.88	119.77	14.95	148.46	15.34	150.8	14.49	158.35	16.68	155.68	17.37	146.58	15.08
149.15	18.34	146.75	15.42	148.23	17.17	125.13	14.95	138.7	15.11	158.3	17.24	154.67	14.74	160.4	18.29	157.41	18.3	153.8	17.38
152.45	20.69	156.22	14.28	157.5	18.35	138.21	14.96	149.11	15.25	160.35	18.4	161.27	17.24	163.29	20.25	160.13	20.34	156.14	18.28
170.78	20.84	158.69	18.34	159.56	21.39	148.29	15.14	163.67	17.19	169.13	20.2	163.49	18.29	180.42	20.24	167.79	20.54	157.73	20.14
182.11	20.84	161.47	20.04	164.81	20.96	154.68	15.24	165.44	20.37	177.99	20.56	164.65	19.93	182.06	21.51	177.44	20.73	168.35	20.58
193.04	20.93	164.05	21.1	176.14	20.82	158.03	17.24	173.89	20.54	180.05	20.8	167.78	20.56	193.37	22.25	180.14	21.53	177.87	20.41
194.75	22.44	173.01	20.99	180.87	22.3	160.24	18.27	182.76	20.95	190.22	21.96	179.4	20.43	193.49	24.52	189.45	22.3	179.56	21.15
197.98	23.94	183.61	21.22	183.98	22.25	163.26	20.29	183.3	21.84	193.34	22.61	181.63	21.6	198.43	24.52	195.88	24.1	193.59	21.23
201.82	23	191.26	21.07	193.25	24.03	172.39	20.56	193.07	22.7	195.31	25.43	193.17	22.61	203.21	24.39	197.36	23.58	198.53	23.78
204.97	22.93	193.67	22.47	196.6	24.01	180.76	20.63	195.43	24.82	201.11	25.38	196.78	25.44	206.09	24.55	201.07	23.56	200.35	23.12
207.87	22.93	197.31	23.96	198.68	23.59	186.25	23.78	197.3	24.78	202.83	25.31	199	25.43	208.81	20.9	204.03	23.54	204.27	23
208.85	22.93	200.04	23.22	200.52	23.5	195.53	24.02	201.77	24.78	206.36	25.56	204.36	25.36	214.08	20.9	206.01	21.65	206.96	23
		203.68	23.15	203.91	23.49	199.64	24.14	204.27	24.88	213.26	21.59	206.51	25.4			207.66	20.92	208.63	21.29
		205.48	23.2	206.69	22.29	203.3	24.15	208.17	21.2		20.65	209.23	22.55					213.69	21.29
		208.95	23.17	207.71			206.5	214.51											
							209.12	21.16											
							216.17	21.16											

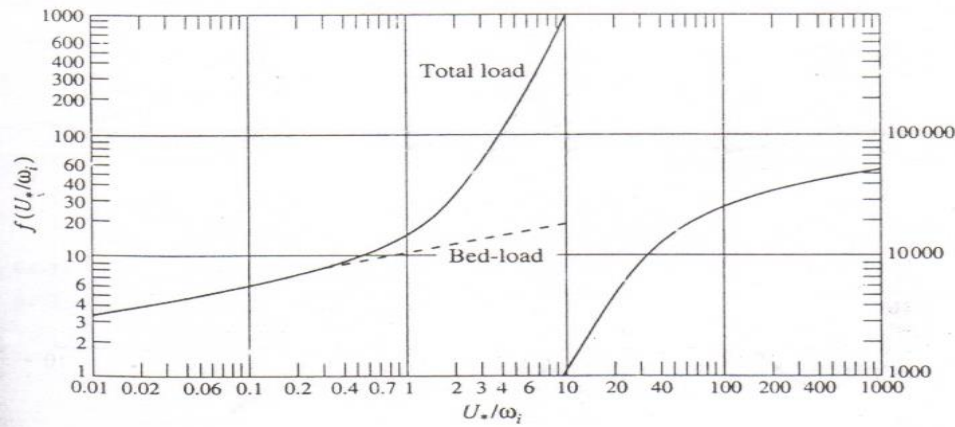
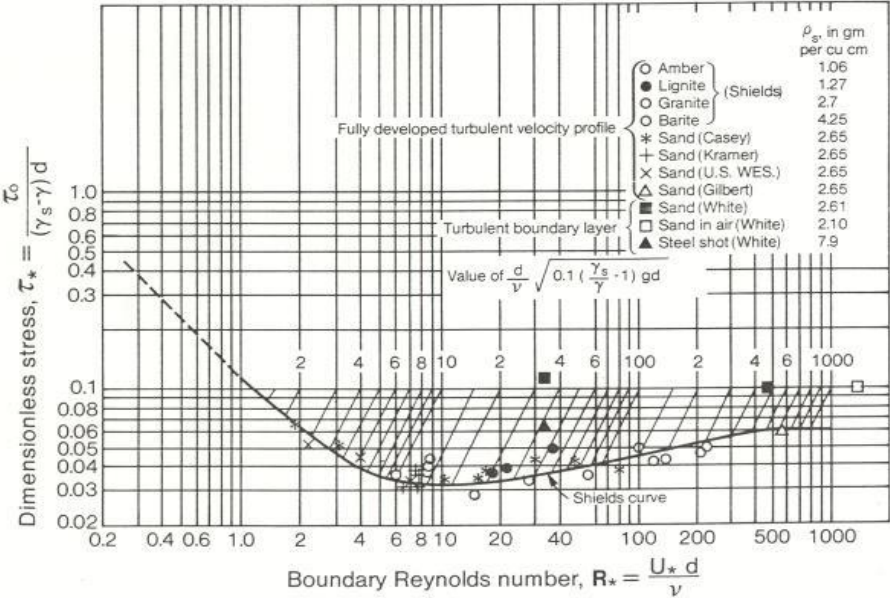
Lampiran 1. (lanjutan)

P11		P12		P13		KB.54,6		P14		P15		P16			P17		P18	
station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	station	elevation	
0	21.38	0	21.08	0	21.33	0	21.44	0	21.86	0	22.36	0	22.69	0	22.95	0	22.97	
6.37	21.41	10.27	21.41	4.93	21.52	4.93	21.64	4.83	21.9	3.36	22.45	3.22	22.93	3.23	23.14	3.89	23.25	
11.62	21.11	17.11	21.52	10.88	21.58	10.27	21.68	9.67	22.01	8.99	22.54	8.86	22.01	8.6	23.22	8.9	23.41	
14.74	22.1	19.07	21.26	13.49	21.71	15.51	23.68	11.41	23.54	12.62	23.84	10.34	23.66	11.52	23.92	10.61	24.01	
17.44	23.38	23.05	23.56	16.33	23.53	18.76	22.29	13.56	23.49	15.44	22.21	12.49	23.47	14.12	22.31	13.03	23.83	
21.18	23.31	26.23	23.12	19.67	23.08	30.24	21.78	15.17	22.09	27.38	22.11	14.91	21.99	22.18	21.79	18.67	20.12	
23.28	22.11	27.52	22.27	20.89	22.1	33.31	20.78	16.92	21.78	31.28	18.21	24.58	21.94	25	20.33	22.29	17.73	
30.18	21.4	35.57	21.66	27.89	21.8	35.33	18.29	29.54	19.61	33.69	17.26	26.59	20.92	26.62	18.25	31.16	17.67	
33.28	20.32	37.16	21.06	27.89	21.25	37.59	16.98	33.7	18.32	39.74	16.56	30.08	18.24	27.97	17.25	91.47	17.67	
34.84	18.3	40.33	21.02	29.77	20.72	46.65	16.89	35.18	17.24	52.09	16.26	31.96	17.34	34.15	16.45	151.36	17.67	
36.18	17.24	43.46	18.27	33.11	20.18	62.09	16.14	49.69	16.3	67.53	15.96	41.63	16.45	47.19	16.02	156.19	20.7	
42.92	16.78	45.49	17.35	35.23	18.24	79.59	15.49	62.17	16.49	86.58	16.26	51.84	16.04	65.75	16.07	173.9	20.85	
53.87	14.63	51.26	16.63	37.42	17.41	94.49	15.04	72.89	16.62	101.75	16.82	64.19	15.13	88.05	16.1	192.31	20.9	
63.84	14.69	61.36	15.1	38.4	16.77	110.83	14.79	85.79	16.5	114.23	16.93	74.14	15.11	106.74	16.08	205.2	21.35	
74.85	14.55	74.79	15.23	44.99	16.32	129.21	14.88	98.55	16.15	123.89	16.92	86.89	15.51	122.34	15.8	208.83	22.96	
87.62	14.4	85.12	14.66	56.22	16.32	141.59	15.14	116.41	15.5	140.41	15.41	103.94	15.85	138.07	16.24	211.11	23.8	
106.09	14.68	98.42	13.87	64.68	15.07	161.02	15.38	135.35	14.62	159.21	14.86	117.63	16.17	150.17	16.89	218.23	23.76	
118	15.02	112.31	14.68	78.36	14.72	172.41	17.09	148.24	14.5	172.9	14.71	135.09	16.05	151.78	18.29	220.78	23.84	
128.31	14.9	131.04	15.08	95.21	14.67	180.98	18.28	165.16	15.55	191.41	17.26	147.05	15.3	170.19	20.95	223.2	22.9	
142.81	14.9	145.39	14.88	113.66	15.1	183.29	20.48	180.18	15.35	194.1	18.32	156.32	15.84	193.98	21.03	228.31	22.53	
153.91	15.6	158.52	14.97	130.83	15.1	187.76	20.28	188.65	15.45	198.26	20.75	167.19	16.35	214.28	21.54	230.72	21.78	
163.29	18.3	171.52	17.17	142.52	15.07	205.39	20.83	190.93	18.3	214.24	20.25	176.73	17.15	220.35	24.23	237.69	21.58	
165.43	20.16	173.91	18.28	155.49	15.36	210.09	21.62	194.02	20.3	231.42	20.69	178.6	18.25	226.01	24.07	241.6	19.36	
175.2	20.47	175.84	20.44	169.65	15.87	220.01	21.74	211.21	20.42	236.12	23.51	182.76	21.09	230.17	22.44			
185.84	20.02	189.71	21.69	175.82	20.42	229.23	22.43	229.33	21.4	240.01	23.52	205.06	20.83	233.92	18.14			
189.13	21.18	200.84	20.4	179.11	20.31	231.21	23.83	235.65	21.64	247.93	19.42	225.34	20.92	237.28	16.39			
204.23	21.61	201.91	21	189.73	20.54	234.24	22.12	239.81	23.07	262.97	19.45	229.1	23.42					
207.85	23.82	218.92	21.67	205.31	20.97	238.97	21.89	245.05	23.81			233.67	23.37					
210.16	23.82	223.18	23.76	209.5	21.29	245.46	23.6	251.63	21.17			242.13	19.95					
212	22.97	227.09	22.88	226.42	23.92	254.08	23.71	263.58	20.72			256.77	17.96					
214.93	22.84	230.69	22.79	230	23.41	260.72	22.63	281.12	20.39									
218.31	22.84	233.78	22.79	233.44	23	263.95	22.5	295.09	20.62									
219.54	24.48	235.21	21.42	237.71	22.78	268.06	21.52	302.48	23.57									
227.83	21.33	243.57	20.78	240.1	22.72	271.03	20.72	305.69	23.53									
				242.67	22.72	278.79		308.38	22.46									
				244.55	21.17			312.82	22.39									
				247.12	20.77													

Lampiran 2.

JARAK ANTARPENAMPANG				DATA JEMBATAN YANG DIPAKAI			DATA PILAR JEMBATAN		
Section	LOB	Channel	ROB	station	high chord	low chord	pilar	lebar	elevasi
P18	0	0	0	38	32.17	29.67	1	20	12.96
p17	60	57	53	48	32.17	29.67		20	15.46
P16	43	45	52	49.79736	32.17	29.71		5.5	15.46
P15	45	47	47	51.75102	32.17	29.72		5.5	26.27
P14	53.13	53.27	49.58	53.70467	32.17	29.68		20	15.46
KB.54.6	44.95	51.03	62.91	55.65833	32.17	29.51	2	20	15.46
P13	22.22	32.1	43.4	57.61199	32.17	29.46		20	17.96
P12	20.64	33.6	44.78	59.56564	32.17	29.36		5.5	17.96
P11	24.68	24.42	24.2	61.5193	32.17	29.21		5.5	26.27
P10	22.78	24.48	24.25	63.27759	32.17	29			
P9	25.52	25.13	24.85	65.03588	32.17	28.78	DATA SEDIMEN D50		
P8	25.96	26.11	25.34	66.79417	32.17	28.51	0.15		
P7	24.89	25.4	25.66	68.55246	32.17	28.19	0.095		
P6	27.92	25.42	23.47	70.31075	32.17	27.9	0.13		
P5	30.79	23.14	18	72.06904	32.17	27.49	0.12		
P4	29	22.84	18.78	73.63196	32.17	27.02	0.09		
P3	19.28	19.39	19.36	75.19489	32.17	26.69	0.095		
P2	20.39	20.38	20.42	76.17171	32.17	26.27	0.125		
P1	19.89	20.87	20.33	79.29756	32.17	26.27	0.14		
A0	20.63	20.12	21.2	80.27439	32.17	26.61	0.12		
A1	24.9	22.52	21.67	81.83732	32.17	27.05	0.125		
A2	21.94	19.94	19.88	83.40024	32.17	27.46	0.11		
A3	20.73	20.9	21.12	85.15853	32.17	27.89	0.3		
A4	20.5	18.94	17.23	86.91682	32.17	28.28	0.095		
A5	19.46	18.57	18.02	88.67511	32.17	28.63	0.09		
A6	20.17	18.55	17.32	90.4334	32.17	28.93	Rata-rata	0.129	
A7	23.4	21.86	21.05	92.19169	32.17	29.18			
A8	23.46	22.11	20.03	93.94998	32.17	29.31	SEDIMEN D95		
A9	22.6	21.22	19.38	95.90364	32.17	29.61	0.04 11a		
A10	23.27	21.82	20.06	97.85729	32.17	29.75	0.045 11b		
A11	23.54	20.45	19.65	99.81095	32.17	29.94	0.005 11c		
A12	24.27	21.99	19.6	101.7646	32.17	30.03	0.0055 11d		
A13	25.07	27.34	28.11	103.7183	32.17	30.09	0.0053 11e		
A14	25.74	25.33	25.29	105.6719	32.17	30.09	rata-rata	0.02016	
A15	49.03	49.33	49.53	106.4534	32.17	30.09			
A16	49.5	48.88	48.04	108.407	32.17	30.09			
A17	49.54	50.54	52.38	110.3607	32.17	30.03			
A18	54.5	53.2	50.24	112.3143	32.17	29.94			
A19	53.35	51.79	50.38	114.268	32.17	29.75			
A20	57.5	57.68	57.88	116.2217	32.17	29.61			
A21	43.87	47.63	51.69	118.1753	32.17	29.31			
A22	52.64	47.68	40.17	119.9336	32.17	29.18			
A23	45.82	42.26	40.71	121.6919	32.17	28.93			
A24	45.68	43.58	40.19	123.4502	32.17	28.63			
A25	41.87	41.82	41.74	125.2085	32.17	28.28			
A26	50.26	50.11	49.91	126.9668	32.17	27.89			
A27	51.45	50.88	48.06	128.7251	32.17	27.46			
A28	49.14	50.08	51.18	130.288	32.17	27.05			
A29	49.33	50.61	51.13	131.8509	32.17	26.61			
				132.8277	32.17	26.27			
				135.9536	32.17	26.27			
				136.9304	32.17	26.69			
				138.4933	32.17	27.02			
				140.0563	32.17	27.49			
				141.8145	32.17	27.9			
				143.5728	32.17	28.19			
				145.3311	32.17	28.51			
				147.0894	32.17	28.78			
				148.8477	32.17	29			
				150.606	32.17	29.21			
				152.5596	32.17	29.36			
				154.5133	32.17	29.46			
				156.467	32.17	29.51			
				158.4206	32.17	29.68			
				160.3743	32.17	29.72			
				162.3279	32.17	29.71			
				163.1094	32.17	29.67			
				164.9068	32.17	29.67			
				174.9068	32.17	29.67			

Lampiran 3.



Lampiran 3. (lanjutan)

Tanggal	Lebar Penampang		Kedalaman Rata-Rata		Luas Penampang Basah	Keliling Basah	Jari-jari Hidrolis	Debit		Debit/ Satuan Lebar		Kecepatan	Koef Manning	Kecepatan geser	Angka Re	Tegangan Geser	τ^*	Tegangan Geser Kritis	U*/ ω	f(U*/ ω)	Konsentrasi Sedimen (Ct)			qs	Qs
	m	ft	m	ft	ft ²	ft	ft	m ³ /s	ft ³ /s	(m ³ /s)/m	(ft ³ /s)/m	ft/s		ft/s		lb/ft ²		lb/ft ²			lb/ft ³	kg/m ³	ppm (mg/l)	(kg/s)/m	kg/s
01-01-1999	89	291.995	3.075	10.088	3047.264	320.527	9.507	576.48	20358.338	6.477	69.722	6.681	0.030	0.806	31.684	1.669	0.035	0.00147	0.9097	11	0.067	1.067	1067.439	6.914	615.362
01-02-1999	89	291.995	3.593	11.788	3580.872	325.335	11.007	738.21	26069.794	8.295	89.282	7.280	0.030	0.871	34.250	1.882	0.036	0.00151	0.9833	11	0.063	1.004	1003.584	8.324	740.860
01-03-1999	89	291.995	3.633	11.919	3622.312	325.706	11.121	745.48	26326.517	8.376	90.161	7.268	0.031	0.876	34.440	1.869	0.036	0.00151	0.9888	11	0.061	0.984	983.683	8.240	733.320
01-04-1999	89	291.995	3.746	12.290	3739.789	326.757	11.445	787.9	27824.429	8.853	95.291	7.440	0.031	0.889	34.973	1.938	0.037	0.00155	1.0041	12	0.067	1.074	1073.994	9.508	846.200
01-05-1999	89	291.995	3.045	9.992	3017.373	320.256	9.422	557.68	19694.194	6.266	67.447	6.527	0.031	0.802	31.533	1.598	0.035	0.00147	0.9053	11	0.065	1.033	1033.467	6.476	576.341
01-06-1999	89	291.995	1.268	4.160	1232.013	303.761	4.056	131.9	4658.005	1.482	15.952	3.781	0.030	0.517	20.347	0.718	0.032	0.00134	0.5842	10	0.073	1.172	1172.260	1.737	154.621
01-07-1999	89	291.995	0.978	3.209	947.367	301.072	3.147	85.516	3019.974	0.961	10.343	3.188	0.030	0.455	17.871	0.557	0.031	0.00130	0.5131	10	0.077	1.229	1229.246	1.181	105.120
01-08-1999	89	291.995	0.790	2.593	763.849	299.329	2.552	59.871	2114.323	0.673	7.241	2.768	0.030	0.409	16.064	0.451	0.031	0.00130	0.4612	0.7	0.006	0.089	89.280	0.060	5.345
01-09-1999	89	291.995	1.286	4.219	1249.874	303.929	4.112	135.07	4769.835	1.518	16.335	3.816	0.030	0.521	20.492	0.728	0.033	0.00139	0.5883	10	0.073	1.169	1169.217	1.774	157.922
01-10-1999	89	291.995	2.403	7.883	2364.062	314.292	7.522	374.13	13212.243	4.204	45.248	5.589	0.031	0.712	28.009	1.268	0.034	0.00143	0.8042	10.2	0.063	1.002	1002.346	4.214	375.007
01-11-1999	89	291.995	2.615	8.580	2578.785	316.261	8.154	432.1	15259.469	4.855	52.259	5.917	0.031	0.743	29.220	1.382	0.034	0.00143	0.8389	10.3	0.062	0.999	999.496	4.853	431.882
01-12-1999	89	291.995	3.058	10.034	3030.612	320.376	9.460	563.06	19884.438	6.327	68.099	6.561	0.030	0.804	31.600	1.613	0.036	0.00151	0.9073	11	0.065	1.038	1037.737	6.565	584.313
01-01-2000	89	291.995	2.568	8.426	2531.393	315.828	8.015	419.87	14827.605	4.718	50.780	5.857	0.031	0.736	28.958	1.363	0.035	0.00147	0.8314	10.3	0.063	1.006	1006.238	4.747	422.490
01-02-2000	89	291.995	2.852	9.359	2820.244	318.465	8.856	501.48	17709.698	5.635	60.651	6.279	0.030	0.776	30.518	1.512	0.035	0.00147	0.8762	10.8	0.065	1.036	1036.057	5.838	519.565
01-03-2000	89	291.995	3.242	10.635	3218.582	322.076	9.993	621.77	21957.751	6.986	75.199	6.822	0.030	0.827	32.533	1.710	0.036	0.00151	0.9340	11	0.064	1.028	1028.211	7.183	639.315
01-04-2000	89	291.995	3.069	10.070	3041.703	320.476	9.491	567.77	20050.493	6.379	68.667	6.592	0.030	0.805	31.656	1.626	0.036	0.00151	0.9089	11	0.065	1.042	1041.928	6.647	591.572
01-05-2000	89	291.995	2.318	7.606	2278.917	313.509	7.269	354.06	12503.672	3.978	42.822	5.487	0.031	0.700	27.513	1.237	0.036	0.00151	0.7899	10.4	0.065	1.039	1039.239	4.134	367.957
01-06-2000	89	291.995	1.388	4.553	1350.259	304.873	4.429	153.5	5420.802	1.725	18.565	4.015	0.030	0.541	21.287	0.786	0.032	0.00134	0.6112	10	0.072	1.154	1154.461	1.991	177.210
01-07-2000	89	291.995	0.861	2.826	833.075	299.987	2.777	69.29	2446.965	0.779	8.380	2.937	0.030	0.426	16.769	0.493	0.031	0.00130	0.4815	7	0.055	0.884	883.942	0.688	61.249
01-08-2000	89	291.995	0.559	1.833	538.657	297.180	1.813	33.613	1187.029	0.378	4.065	2.204	0.030	0.344	13.507	0.321	0.031	0.00130	0.3878	6	0.051	0.815	814.910	0.308	27.391
01-09-2000	89	291.995	0.534	1.751	514.375	296.948	1.732	31.133	1099.463	0.350	3.765	2.137	0.030	0.336	13.201	0.306	0.031	0.00130	0.3790	6	0.051	0.821	821.098	0.287	25.564
01-10-2000	89	291.995	0.491	1.610	472.844	296.550	1.594	27.065	955.774	0.304	3.273	2.021	0.030	0.322	12.660	0.282	0.031	0.00130	0.3635	6	0.052	0.832	832.204	0.253	22.523
01-11-2000	89	291.995	0.521	1.709	502.021	296.829	1.691	29.9	1055.909	0.336	3.616	2.103	0.030	0.332	13.042	0.299	0.031	0.00130	0.3745	6	0.051	0.824	824.328	0.277	24.647
01-12-2000	89	291.995	1.232	4.042	1196.456	303.426	3.943	125.84	4443.953	1.414	15.219	3.714	0.030	0.510	20.055	0.700	0.033	0.00139	0.5758	10	0.074	1.181	1181.397	1.670	148.665
01-01-2001	89	291.995	2.578	8.458	2541.124	315.917	8.044	423.61	14959.750	4.760	51.233	5.887	0.030	0.738	29.012	1.375	0.034	0.00143	0.8329	10.2	0.062	1.001	1000.945	4.764	424.013
01-02-2001	89	291.995	2.678	8.786	2642.542	316.844	8.340	451.75	15953.402	5.076	54.636	6.037	0.030	0.752	29.569	1.427	0.034	0.00143	0.8489	10.2	0.062	0.994	994.279	5.047	449.166
01-03-2001	89	291.995	3.046	9.993	3017.745	320.259	9.423	561.19	19818.365	6.306	67.872	6.567	0.030	0.802	31.535	1.618	0.036	0.00151	0.9054	11	0.065	1.046	1046.106	6.596	587.068
01-04-2001	89	291.995	3.021	9.912	2992.456	320.030	9.351	553.83	19558.441	6.223	66.982	6.536	0.030	0.799	31.407	1.607	0.036	0.00151	0.9017	11	0.065	1.049	1048.872	6.527	580.900
01-05-2001	89	291.995	1.605	5.267	1565.643	306.892	5.102	190.77	6737.128	2.144	23.073	4.303	0.031	0.582	22.894	0.860	0.033	0.00139	0.6573	10	0.067	1.066	1066.271	2.286	203.417
01-06-2001	89	291.995	1.844	6.051	1803.560	309.110	5.835	241.23	8519.076	2.710	29.175	4.723	0.031	0.624	24.540	0.989	0.034	0.00143	0.7046	10.3	0.067	1.075	1074.764	2.913	259.269
01-07-2001	89	291.995	1.114	3.656	1080.895	302.335	3.575	106.52	3761.582	1.197	12.882	3.480	0.030	0.485	19.074	0.635	0.031	0.00130	0.5476	10	0.075	1.205	1205.203	1.442	128.374
01-08-2001	89	291.995	0.881	2.891	852.641	300.173	2.840	72.032	2543.795	0.809	8.712	2.983	0.030	0.431	16.963	0.505	0.031	0.00130	0.4870	7	0.055	0.881	881.084	0.713	63.466
01-09-2001	89	291.995	0.737	2.416	711.428	298.829	2.381	53.4	1885.803	0.600	6.458	2.651	0.030	0.394	15.507	0.423	0.031	0.00130	0.4452	7	0.057	0.910	909.904	0.546	48.589
01-10-2001	89	291.995	1.739	5.705	1698.414	308.131	5.512	218.35	7711.129	2.453	26.408	4.540	0.031	0.606	23.828	0.932	0.033	0.00139	0.6841	10	0.066	1.053	1053.023	2.584	229.933
01-11-2001	89	291.995	1.750	5.740	1708.948	308.229	5.544	220.6	7790.416	2.479	26.680	4.559	0.031	0.608	23.900	0.938	0.033	0.00139	0.6862	10	0.066	1.052	1051.974	2.607	232.065
01-12-2001	89	291.995	1.762	5.781	1721.502	308.346	5.583	223.32	7886.563	2.509	27.009	4.581	0.031	0.610	23.986	0.945	0.034	0.00143	0.6887	10	0.066	1.051	1051.063	2.637	234.726

Lampiran 3. (lanjutan)

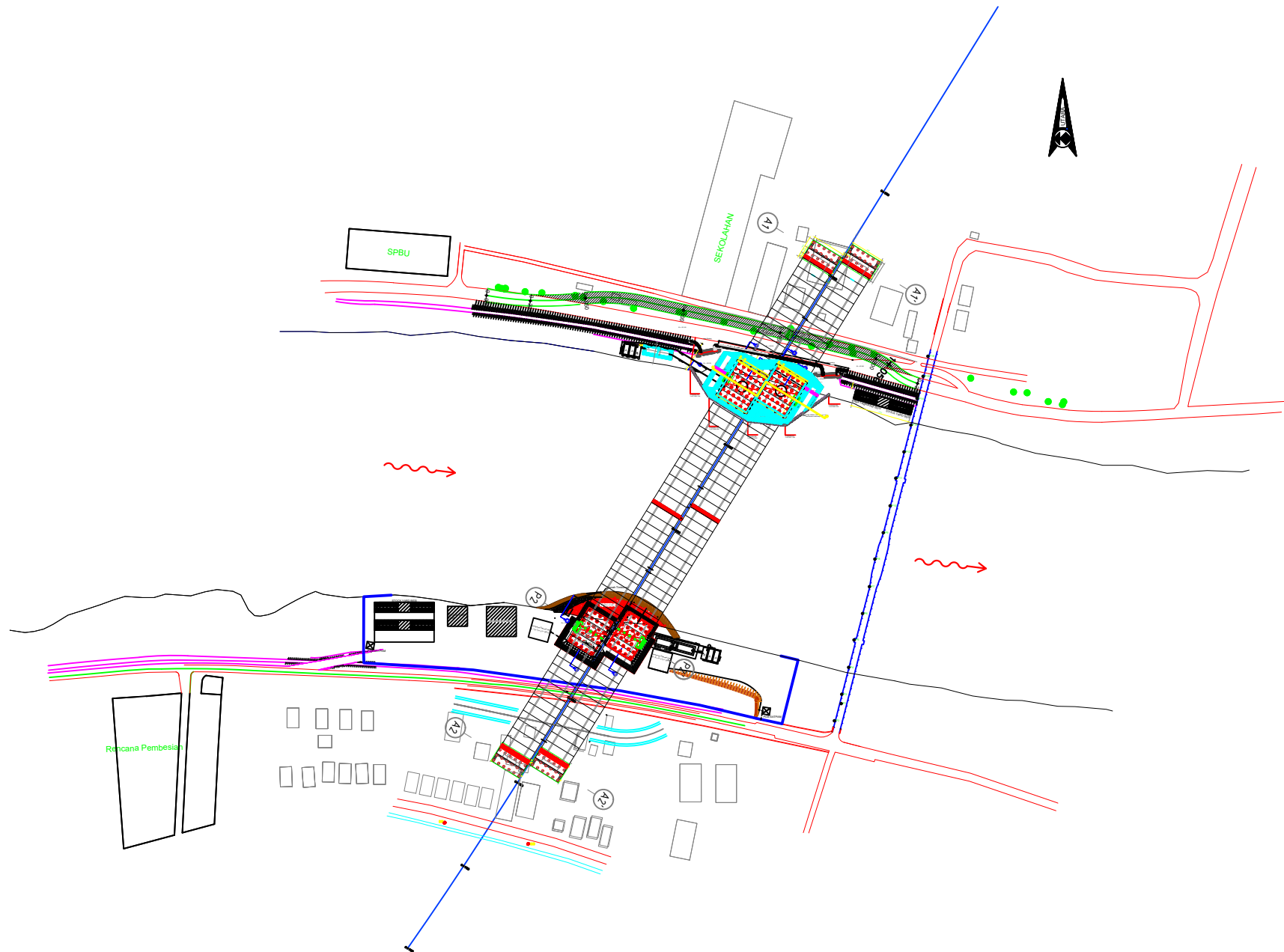
Tanggal	Lebar Penampang		Kedalaman Rata-Rata		Luas Penampang Basah	Keliling Basah	Jari-jari Hidrolis	Debit		Debit/ Satuan Lebar		Kecepatan	Koef Manning	Kecepatan geser	Angka Re	Tegangan Geser	τ^*	Tegangan Geser Kritis	U^*/ω	$f(U^*/\omega)$	Konsentrasi Sedimen (Ct)			qs	Qs
	m	ft	m	ft	ft ²	ft	ft	m ³ /s	ft ³ /s	(m ³ /s)/m	(ft ³ /s)/m	ft/s		ft/s		lb/ft ²		lb/ft ²			lb/ft ³	kg/m ³	ppm (mg/l)	(kg/s)/m	kg/s
01-01-2002	89	291.995	2.988	9.802	2958.204	319.719	9.253	543.87	19206.624	6.111	65.777	6.493	0.030	0.794	31.232	1.592	0.036	0.00151	0.8967	10.2	0.061	0.976	975.938	5.964	530.784
01-02-2002	89	291.995	3.433	11.262	3415.334	323.849	10.546	685.79	24218.296	7.705	82.941	7.091	0.030	0.851	33.478	1.813	0.037	0.00155	0.9612	11	0.064	1.019	1019.461	7.855	699.132
01-03-2002	89	291.995	3.090	10.137	3062.727	320.667	9.551	575.71	20330.997	6.469	69.628	6.638	0.030	0.808	31.762	1.645	0.036	0.00151	0.9119	11	0.065	1.046	1046.126	6.767	602.265
01-04-2002	89	291.995	2.910	9.547	2878.959	318.999	9.025	520.9	18395.412	5.853	62.999	6.390	0.030	0.784	30.824	1.555	0.036	0.00151	0.8850	10.2	0.061	0.983	983.229	5.755	512.164
01-05-2002	89	291.995	1.642	5.389	1602.512	307.236	5.216	199	7027.619	2.236	24.068	4.385	0.031	0.589	23.157	0.886	0.033	0.00139	0.6649	10	0.067	1.070	1070.142	2.393	212.958
01-06-2002	89	291.995	0.826	2.709	798.458	299.658	2.665	64.667	2283.682	0.727	7.821	2.860	0.030	0.418	16.420	0.474	0.032	0.00134	0.4714	7	0.056	0.036	36.000	0.026	2.328
01-07-2002	89	291.995	0.708	2.324	683.971	298.568	2.291	50.065	1768.012	0.563	6.055	2.585	0.030	0.387	15.207	0.408	0.032	0.00134	0.4366	7	0.057	0.917	917.365	0.516	45.927
01-08-2002	89	291.995	0.734	2.408	709.002	298.806	2.373	53.129	1876.234	0.597	6.426	2.646	0.030	0.394	15.481	0.422	0.032	0.00134	0.4445	7	0.057	0.911	911.480	0.544	48.426
01-09-2002	89	291.995	0.684	2.245	660.617	298.345	2.214	47.267	1669.207	0.531	5.717	2.527	0.030	0.380	14.948	0.394	0.032	0.00134	0.4292	7	0.058	0.923	922.945	0.490	43.625
01-10-2002	89	291.995	0.592	1.943	571.066	297.490	1.920	37.129	1311.200	0.417	4.490	2.296	0.030	0.354	13.905	0.341	0.032	0.00134	0.3992	6.8	0.057	0.919	919.235	0.383	34.130
01-11-2002	89	291.995	0.758	2.486	732.189	299.027	2.449	56.033	1978.799	0.630	6.777	2.703	0.030	0.400	15.730	0.436	0.032	0.00134	0.4516	7	0.057	0.906	906.312	0.571	50.784
01-12-2002	89	291.995	1.592	5.225	1552.836	306.772	5.062	188.77	6666.498	2.121	22.831	4.293	0.031	0.580	22.802	0.858	0.035	0.00147	0.6547	10	0.067	1.074	1074.247	2.279	202.790
01-01-2003	89	291.995	2.618	8.588	2581.392	316.285	8.162	436.03	15398.335	4.899	52.735	5.965	0.030	0.744	29.234	1.404	0.036	0.00151	0.8393	10.2	0.063	1.004	1004.389	4.921	437.946
01-02-2003	89	291.995	3.195	10.484	3171.068	321.647	9.859	609.32	21517.985	6.846	73.693	6.786	0.030	0.821	32.300	1.700	0.037	0.00155	0.9274	11	0.065	1.039	1039.412	7.116	633.336
01-03-2003	89	291.995	3.016	9.896	2987.431	319.984	9.336	553.48	19546.100	6.219	66.940	6.543	0.030	0.798	31.381	1.611	0.036	0.00151	0.9010	11	0.066	1.054	1053.647	6.553	583.177
01-04-2003	89	291.995	1.548	5.079	1508.779	306.360	4.925	180.37	6369.589	2.027	21.814	4.222	0.031	0.572	22.482	0.838	0.035	0.00147	0.6455	10.2	0.069	1.105	1105.466	2.240	199.389
01-05-2003	89	291.995	1.461	4.795	1423.039	305.556	4.657	163.68	5780.214	1.839	19.796	4.062	0.031	0.556	21.844	0.791	0.034	0.00143	0.6272	10.2	0.070	1.116	1115.516	2.052	182.585
01-06-2003	89	291.995	0.835	2.739	807.297	299.742	2.693	65.867	2326.060	0.740	7.966	2.881	0.030	0.420	16.510	0.479	0.032	0.00134	0.4740	7	0.056	0.891	891.172	0.660	58.699
01-07-2003	89	291.995	0.702	2.303	677.722	298.508	2.270	49.323	1741.811	0.554	5.965	2.570	0.030	0.385	15.138	0.404	0.032	0.00134	0.4346	7	0.057	0.919	919.318	0.509	45.343
01-08-2003	89	291.995	0.647	2.122	624.126	297.997	2.094	43.032	1519.670	0.484	5.204	2.435	0.030	0.370	14.532	0.373	0.032	0.00134	0.4172	7	0.058	0.933	932.539	0.451	40.129
01-09-2003	89	291.995	0.618	2.026	595.697	297.725	2.001	39.833	1406.701	0.448	4.818	2.361	0.030	0.361	14.199	0.356	0.032	0.00134	0.4077	7	0.059	0.940	940.048	0.421	37.445
01-10-2003	89	291.995	0.675	2.216	651.977	298.263	2.186	46.258	1633.588	0.520	5.595	2.506	0.030	0.378	14.850	0.389	0.032	0.00134	0.4264	7	0.058	0.925	925.482	0.481	42.811
01-11-2003	89	291.995	1.650	5.415	1610.403	307.310	5.240	200.83	7092.363	2.257	24.289	4.404	0.031	0.590	23.213	0.893	0.035	0.00147	0.6665	10.1	0.068	1.082	1082.240	2.442	217.350
01-12-2003	89	291.995	2.354	7.724	2315.177	313.843	7.377	365.16	12895.551	4.103	44.164	5.570	0.030	0.705	27.726	1.268	0.035	0.00147	0.7960	10.3	0.065	1.037	1036.566	4.253	378.514
01-01-2004	89	291.995	2.399	7.872	2360.491	314.260	7.511	377	13313.631	4.236	45.595	5.640	0.030	0.712	27.989	1.292	0.035	0.00147	0.8036	10.2	0.064	1.023	1023.147	4.334	385.726
01-02-2004	89	291.995	2.914	9.560	2882.839	319.034	9.036	522.52	18452.524	5.871	63.195	6.401	0.030	0.784	30.844	1.560	0.036	0.00151	0.8856	10.2	0.061	0.985	984.756	5.781	514.552
01-03-2004	89	291.995	3.540	11.615	3526.354	324.846	10.855	722.9	25528.975	8.122	87.430	7.239	0.030	0.865	33.998	1.870	0.037	0.00155	0.9761	11	0.063	1.015	1014.596	8.241	733.451
01-04-2004	89	291.995	1.866	6.122	1825.113	309.311	5.901	247.4	8736.849	2.780	29.921	4.787	0.031	0.628	24.683	1.012	0.035	0.00147	0.7087	10.3	0.068	1.085	1084.797	3.015	268.379
01-05-2004	89	291.995	1.284	4.213	1248.041	303.912	4.107	131.87	4656.980	1.482	15.949	3.731	0.031	0.521	20.477	0.697	0.034	0.00143	0.5879	9	0.063	1.008	1008.138	1.494	132.944
01-06-2004	89	291.995	0.916	3.006	886.834	300.498	2.951	74.6	2634.474	0.838	9.022	2.971	0.031	0.440	17.296	0.494	0.033	0.00139	0.4966	7	0.051	0.824	823.954	0.691	61.467
01-07-2004	89	291.995	0.776	2.546	749.929	299.196	2.506	58.323	2059.643	0.655	7.054	2.746	0.030	0.405	15.918	0.446	0.032	0.00134	0.4570	7	0.056	0.903	903.302	0.592	52.683
01-08-2004	89	291.995	0.642	2.105	618.991	297.948	2.078	42.452	1499.165	0.477	5.134	2.422	0.030	0.368	14.472	0.370	0.032	0.00134	0.4155	7	0.058	0.934	934.061	0.446	39.652
01-09-2004	89	291.995	0.728	2.389	703.194	298.751	2.354	52.433	1851.666	0.589	6.341	2.633	0.030	0.392	15.418	0.419	0.032	0.00134	0.4427	7	0.057	0.914	913.584	0.538	47.902
01-10-2004	89	291.995	0.789	2.589	762.703	299.318	2.548	59.968	2117.741	0.674	7.253	2.777	0.030	0.408	16.052	0.454	0.032	0.00134	0.4609	7	0.056	0.900	900.403	0.607	53.995
01-11-2004	89	291.995	1.184	3.883	1149.036	302.979	3.792	114.83	4055.301	1.290	13.888	3.529	0.031	0.500	19.659	0.640	0.033	0.00139	0.5644	9	0.064	1.019	1019.039	1.315	117.020
01-12-2004	89	291.995	2.835	9.300	2802.099	318.300	8.803	499.16	17627.716	5.609	60.370	6.291	0.030	0.774	30.422	1.521	0.038	0.00160	0.8735	10.2	0.062	0.991	991.328	5.560	494.833
01-01-2005	89	291.995	2.034	6.674	1993.328	310.872	6.412	285.94	10097.717	3.213	34.582	5.066	0.030	0.655	25.772	1.101	0.035	0.00147	0.7399	10.2	0.066	1.057	1057.033	3.396	302.243
01-02-2005	89	291.995	2.461	8.073	2422.509	314.829	7.695	393.71	13903.890	4.424	47.617	5.739	0.030	0.721	28.345	1.327	0.037	0.00155	0.8138	11	0.069	1.100	1100.116	4.867	433.132
01-03-2005	89	291.995	2.655	8.711	2619.387	316.633	8.273	447.26	15794.771	5.025	54.093	6.030	0.030	0.749	29.443	1.428	0.038	0.00160	0.8453	11	0.068	1.084	1083.521	5.445	484.613
01-04-2005	89	291.995	2.734	8.971	2700.094	317.370	8.508	470.03	16599.072	5.281	56.847	6.148	0.030	0.760	29.880	1.470	0.038	0.00160	0.8579	11	0.067	1.078	1077.523	5.691	506.471
01-05-2005	89	291.995	1.017	3.336	985.190	301.430	3.268	88.935	3140.727	0.999	10.756	3.188	0.031	0.463	18.220	0.550	0.033	0.00139	0.5231	11.2	0.081	1.299	1299.184	1.298	115.544
01-06-2005	89	291.995	1.086	3.564	1053.273	302.074	3.487	99.4	3510.278	1.117	12.02														

Lampiran 3. (lanjutan)

Tanggal	Lebar Penampang		Kedalaman Rata-Rata		Luas Penampang Basah	Keliling Basah	Jari-jari Hidrolis	Debit		Debit/ Satuan Lebar		Kecepatan	Koef Manning	Kecepatan geser	Angka Re	Tegangan Geser	τ^*	Tegangan Geser Kritis	U^*/ω	$f(U^*/\omega)$	Konsentrasi Sedimen (Ct)			qs	Qs
	m	ft	m	ft	ft ²	ft	ft	m ³ /s	ft ³ /s	(m ³ /s)/m	(ft ³ /s)/m	ft/s		ft/s		lb/ft ²		lb/ft ²			lb/ft ³	kg/m ³	ppm (mg/l)	(kg/s)/m	kg/s
01-01-2006	89	291.995	2.910	9.546	2878.537	318.995	9.024	521.68	18422.866	5.862	63.093	6.400	0.030	0.784	30.822	1.560	0.038	0.00160	0.8849	11	0.066	1.064	1064.055	6.237	555.093
01-02-2006	89	291.995	3.027	9.932	2998.669	320.086	9.368	557.5	19687.929	6.264	67.426	6.566	0.030	0.800	31.438	1.621	0.038	0.00160	0.9026	11	0.066	1.055	1055.231	6.610	588.291
01-03-2006	89	291.995	2.847	9.340	2814.459	318.412	8.839	503.06	17765.557	5.652	60.842	6.312	0.030	0.775	30.487	1.529	0.038	0.00160	0.8753	11	0.067	1.069	1069.481	6.045	538.018
01-04-2006	89	291.995	3.274	10.740	3251.424	322.373	10.086	635.5	22442.473	7.140	76.859	6.902	0.030	0.831	32.693	1.745	0.039	0.00164	0.9386	11	0.065	1.037	1037.167	7.406	659.120
01-05-2006	89	291.995	2.226	7.302	2185.438	312.648	6.990	333	11759.785	3.742	40.274	5.381	0.030	0.686	26.957	1.206	0.035	0.00147	0.7739	10.4	0.066	1.063	1062.744	3.976	353.894
01-06-2006	89	291.995	1.167	3.828	1132.295	302.821	3.739	112.33	3967.015	1.262	13.586	3.504	0.031	0.496	19.517	0.634	0.033	0.00139	0.5603	10.5	0.075	1.197	1197.283	1.511	134.495
01-07-2006	89	291.995	0.852	2.796	824.370	299.904	2.749	68.194	2408.233	0.766	8.248	2.921	0.030	0.424	16.682	0.490	0.032	0.00134	0.4790	10.2	0.081	1.294	1294.076	0.992	88.248
01-08-2006	89	291.995	0.886	2.908	857.476	300.219	2.856	70.581	2492.532	0.793	8.536	2.907	0.031	0.433	17.011	0.478	0.033	0.00139	0.4884	10.2	0.075	1.208	1208.410	0.958	85.290
01-09-2006	89	291.995	0.795	2.608	768.237	299.370	2.566	60.693	2143.365	0.682	7.340	2.790	0.030	0.410	16.109	0.457	0.032	0.00134	0.4625	10.1	0.081	1.298	1297.685	0.885	78.761
01-10-2006	89	291.995	0.677	2.221	653.465	298.277	2.191	46.439	1639.979	0.522	5.616	2.510	0.030	0.378	14.867	0.390	0.032	0.00134	0.4268	9.9	0.082	1.309	1308.720	0.683	60.776
01-11-2006	89	291.995	0.712	2.336	687.409	298.601	2.302	50.499	1783.367	0.567	6.108	2.594	0.030	0.388	15.245	0.410	0.032	0.00134	0.4377	9.9	0.081	1.297	1297.185	0.736	65.507
01-12-2006	89	291.995	1.552	5.092	1512.853	306.398	4.938	181.63	6414.181	2.041	21.967	4.240	0.031	0.573	22.511	0.844	0.035	0.00147	0.6463	10.3	0.070	1.121	1121.445	2.289	203.687
01-01-2007	89	291.995	1.113	3.650	1079.126	302.319	3.569	103.59	3658.099	1.164	12.528	3.390	0.031	0.485	19.059	0.603	0.033	0.00139	0.5472	11	0.079	1.261	1260.811	1.467	130.602
01-02-2007	89	291.995	2.135	7.004	2094.217	311.805	6.716	310.39	10961.283	3.488	37.539	5.234	0.030	0.671	26.401	1.157	0.035	0.00147	0.7580	11	0.071	1.132	1132.016	3.948	351.365
01-03-2007	89	291.995	2.458	8.063	2419.502	314.802	7.686	393.19	13885.500	4.418	47.554	5.739	0.030	0.720	28.327	1.327	0.035	0.00147	0.8133	11	0.069	1.102	1101.936	4.868	433.274
01-04-2007	89	291.995	3.093	10.147	3065.878	320.695	9.560	578.03	20413.056	6.495	69.909	6.658	0.030	0.808	31.777	1.655	0.037	0.00155	0.9124	11	0.066	1.051	1050.856	6.825	607.430
01-05-2007	89	291.995	1.476	4.844	1437.791	305.695	4.703	167.03	5898.689	1.877	20.201	4.103	0.031	0.558	21.955	0.804	0.034	0.00143	0.6303	10.3	0.071	1.132	1131.825	2.124	189.051
01-06-2007	89	291.995	1.401	4.596	1363.127	304.994	4.469	152.83	5397.188	1.717	18.484	3.959	0.031	0.544	21.386	0.762	0.034	0.00143	0.6140	10.2	0.071	1.129	1129.382	1.939	172.605
01-07-2007	89	291.995	1.282	4.206	1245.892	303.892	4.100	131.61	4647.866	1.479	15.918	3.731	0.031	0.520	20.459	0.697	0.034	0.00143	0.5874	10.1	0.071	1.134	1133.709	1.677	149.211
01-08-2007	89	291.995	0.825	2.707	797.893	299.653	2.663	64.613	2281.783	0.726	7.814	2.860	0.030	0.417	16.414	0.474	0.032	0.00134	0.4713	9.9	0.079	1.263	1263.379	0.917	81.631
01-09-2007	89	291.995	0.713	2.339	688.539	298.611	2.306	50.633	1788.099	0.569	6.124	2.597	0.030	0.388	15.258	0.411	0.032	0.00134	0.4381	9.8	0.080	1.284	1283.536	0.730	64.990
01-10-2007	89	291.995	0.691	2.267	667.232	298.408	2.236	48.065	1697.383	0.540	5.813	2.544	0.030	0.382	15.022	0.398	0.032	0.00134	0.4313	9.8	0.081	1.291	1290.514	0.697	62.028
01-11-2007	89	291.995	1.510	4.955	1471.495	306.011	4.809	147.43	6124.741	1.949	20.976	4.162	0.031	0.565	22.207	0.821	0.035	0.00147	0.6376	10.3	0.070	1.126	1125.860	2.194	195.262
01-12-2007	89	291.995	2.682	8.800	2646.934	316.884	8.353	455.39	16081.845	5.117	55.076	6.076	0.030	0.753	29.593	1.445	0.035	0.00147	0.8496	11	0.068	1.083	1083.372	5.543	493.354
01-01-2008	89	291.995	2.147	7.045	2106.808	311.922	6.754	313.55	11072.858	3.523	37.921	5.256	0.030	0.673	26.479	1.164	0.035	0.00147	0.7602	11	0.071	1.131	1131.437	3.986	354.760
01-02-2008	89	291.995	2.504	8.216	2466.655	315.234	7.825	405.93	14335.321	4.561	49.094	5.812	0.030	0.727	28.595	1.353	0.035	0.00147	0.8210	10.3	0.064	1.029	1028.713	4.692	417.586
01-03-2008	89	291.995	3.710	12.171	3702.061	326.420	11.341	781.39	27594.428	8.780	94.503	7.454	0.030	0.885	34.803	1.952	0.038	0.00160	0.9992	11	0.063	1.003	1002.681	8.803	783.482
01-04-2008	89	291.995	2.294	7.528	2254.688	313.286	7.197	350.67	12383.678	3.940	42.411	5.492	0.030	0.696	27.370	1.244	0.035	0.00147	0.7858	10.3	0.065	1.048	1047.663	4.128	367.380
01-05-2008	89	291.995	1.599	5.245	1558.955	306.829	5.081	191.06	6747.380	2.147	23.108	4.328	0.031	0.581	22.846	0.871	0.035	0.00147	0.6559	11	0.075	1.194	1194.119	2.564	228.154
01-06-2008	89	291.995	0.972	3.190	941.720	301.018	3.128	82.633	2918.169	0.928	9.994	3.099	0.031	0.453	17.818	0.527	0.033	0.00139	0.5116	9.9	0.072	1.160	1160.045	1.077	95.858
01-07-2008	89	291.995	0.839	2.753	811.304	299.780	2.706	66.419	2345.578	0.746	8.033	2.891	0.030	0.421	16.551	0.482	0.032	0.00134	0.4752	9	0.071	1.145	1145.184	0.855	76.062
01-08-2008	89	291.995	0.768	2.519	741.893	299.120	2.480	57.29	2023.189	0.644	6.929	2.727	0.030	0.403	15.833	0.442	0.032	0.00134	0.4546	9	0.073	1.164	1163.508	0.749	66.658
01-09-2008	89	291.995	0.656	2.153	633.432	298.086	2.125	44.1	1557.377	0.496	5.334	2.459	0.030	0.372	14.639	0.378	0.032	0.00134	0.4203	9	0.075	1.196	1195.904	0.593	52.739
01-10-2008	89	291.995	0.752	2.467	726.381	298.972	2.430	55.323	1953.699	0.622	6.691	2.690	0.030	0.398	15.668	0.433	0.032	0.00134	0.4498	9	0.073	1.168	1167.847	0.726	64.608
01-11-2008	89	291.995	2.020	6.627	1979.111	310.740	6.369	283.1	9997.583	3.181	34.239	5.052	0.030	0.653	25.682	1.098	0.035	0.00147	0.7373	10.2	0.066	1.062	1062.206	3.379	300.711
01-12-2008	89	291.995	1.519	4.985	1480.504	306.095	4.837	175.32	6191.459	1.970	21.204	4.182	0.031	0.566	22.273	0.827	0.035	0.00147	0.6395	10.3	0.070	1.126	1126.387	2.219	197.481
01-01-2009	89	291.995	2.325	7.628	2285.438	313.569	7.288	358.39	12656.322	4.027	43.344	5.538	0.030	0.701	27.551	1.259	0.035	0.00147	0.7910	11	0.070	1.115	1115.131	4.490	399.648
01-02-2009	89	291.995	3.375	11.072	3355.450	323.310	10.378	668.79	23617.947	7.514	80.885	7.039	0.030	0.844	33.194	1.796	0.038	0.00160	0.9530	11	0.064	1.030	1030.491	7.744	689.178
01-03-2009	89	291.995	2.534	8.315	2497.081	315.513	7.914	414.29	14630.526	4.655	50.105	5.859	0.030	0.732	28.766	1.369	0.035	0.00147	0.8259	11	0.068	1.097	1096.829	5.106	454.406
01-04-2009	89	291.995	2.295	7.529	2255.095	313.290	7.198	350.7	12384.855	3.940	42.415	5.492	0.030	0.696	27.372	1.244	0.035	0.00147	0.7859	11	0.070	1.118	1118.376	4.407	392.215
01-05-2009	89	291.995	1.841	6.039	1799.760	309.075	5.823	242.03	8547.289	2.719	29.272	4.749	0.030	0.623	24.514	1.001	0.035	0.00147	0.7038	11	0.073	1.164	1163.926	3.165	281.708
01-06-2009	89	291.995	1.414	4.638	1375.680	305.112	4.509</																		

Lampiran 3. (lanjutan)

Tanggal	Lebar Pena mpan		Kedalam an Rata- Rata		Luas Penampang Basah	Kehiling Basah	Jari-jari Hidrolis	Debit		Debit/ Satuan Lebar		Kecepatan	Koef Manning	Kecepatan geser	Angka Re	Tegangan Geser	τ^*	Tegangan Geser Kritis	U^*/ω	$f(U^*/\omega)$	Konsentra si Sedimen			qs	Qs
	m	ft	m	ft	ft ²	ft	ft	m ³ /s	ft ³ /s	(m ³ /s)/m	(ft ³ /s)/m	ft/s		ft/s		lb/ft ²		lb/ft ²			lb/ft ³	kg/m ³	ppm (mg/l)	(kg/s)/m	kg/s
01-01-2010	89	291.995	2.315	7.594	2275.206	313.475	7.258	355.71	12561.770	3.997	43.021	5.521	0.030	0.699	27.491	1.253	0.035	0.00147	0.7893	10.2	0.065	1.035	1034.584	4.135	368.012
01-02-2010	89	291.995	3.289	10.791	3267.288	322.516	10.131	640.71	22626.614	7.199	77.490	6.925	0.030	0.833	32.770	1.754	0.038	0.00160	0.9408	11	0.065	1.037	1036.713	7.463	664.237
01-03-2010	89	291.995	3.334	10.938	3313.497	322.932	10.261	655.52	23149.336	7.365	79.280	6.986	0.030	0.839	32.993	1.777	0.038	0.00160	0.9472	11	0.065	1.034	1033.882	7.615	677.726
01-04-2010	89	291.995	3.445	11.301	3427.554	323.959	10.580	692.23	24445.992	7.778	83.721	7.132	0.030	0.853	33.536	1.832	0.038	0.00160	0.9628	11	0.064	1.026	1026.022	7.980	710.247
01-05-2010	89	291.995	3.767	12.359	3761.543	326.952	11.505	802.29	28332.618	9.014	97.031	7.532	0.030	0.892	35.070	1.983	0.038	0.00160	1.0069	11	0.062	1.001	1000.626	9.020	802.793
01-06-2010	89	291.995	2.341	7.680	2301.617	313.718	7.337	362.9	12815.694	4.078	43.890	5.568	0.030	0.703	27.646	1.270	0.035	0.00147	0.7938	10.3	0.065	1.045	1044.804	4.260	379.160
01-07-2010	89	291.995	1.807	5.928	1766.075	308.762	5.720	234.84	8293.252	2.639	28.402	4.696	0.030	0.618	24.288	0.985	0.035	0.00147	0.6973	10.2	0.068	1.085	1084.908	2.863	254.778
01-08-2010	89	291.995	1.379	4.524	1341.305	304.789	4.401	148.93	5259.532	1.673	18.012	3.921	0.031	0.540	21.217	0.751	0.034	0.00143	0.6092	10.2	0.071	1.134	1134.385	1.898	168.948
01-09-2010	89	291.995	2.544	8.347	2506.857	315.603	7.943	417.13	14730.926	4.687	50.449	5.876	0.030	0.733	28.821	1.376	0.035	0.00147	0.8275	10.3	0.064	1.027	1027.202	4.814	428.480
01-10-2010	89	291.995	2.489	8.166	2451.232	315.093	7.779	402.13	14201.054	4.518	48.635	5.793	0.030	0.725	28.508	1.347	0.035	0.00147	0.8185	10.3	0.064	1.032	1031.679	4.661	414.868
01-11-2010	89	291.995	3.142	10.310	3116.739	321.156	9.705	594.1	20980.446	6.675	71.852	6.732	0.030	0.815	32.031	1.682	0.038	0.00160	0.9196	11	0.065	1.049	1048.827	7.001	623.108
01-12-2010	89	291.995	3.199	10.496	3174.812	321.681	9.869	612.19	21619.413	6.879	74.040	6.810	0.030	0.822	32.318	1.712	0.038	0.00160	0.9279	11	0.065	1.045	1044.977	7.188	639.728
01-01-2011	89	291.995	2.880	9.450	2848.641	318.723	8.938	509.94	18008.203	5.730	61.673	6.322	0.030	0.780	30.666	1.528	0.035	0.00147	0.8805	10.3	0.062	0.987	986.934	5.655	503.273



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

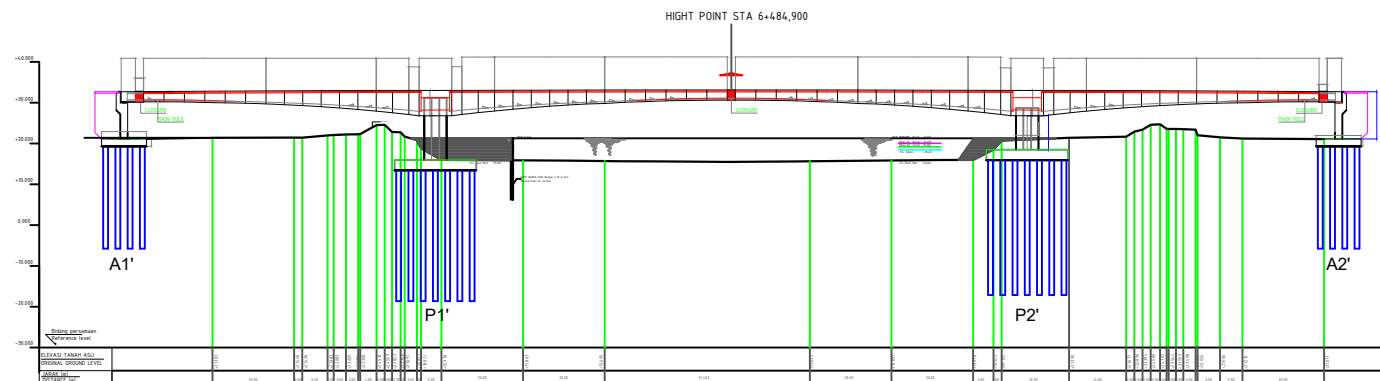
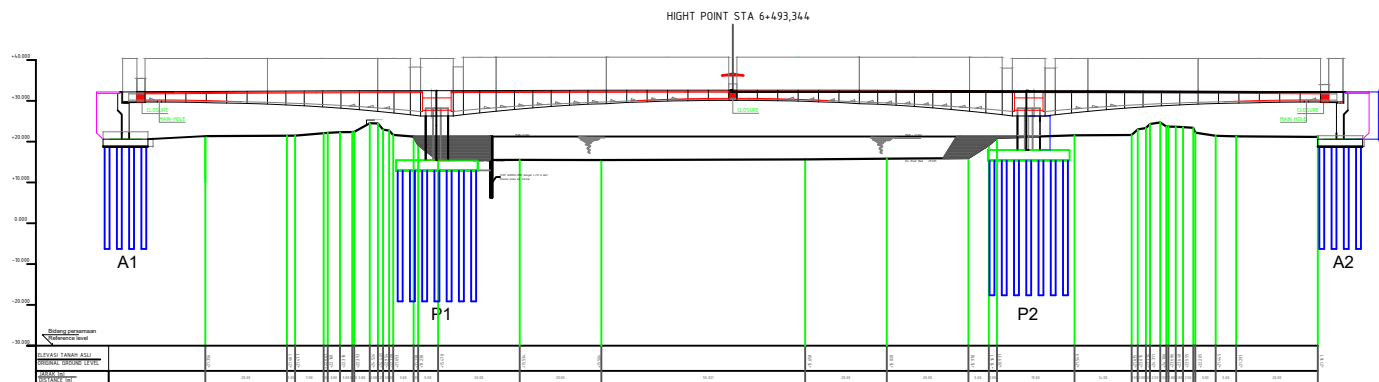
Nama Gambar
PLAN JEMBATAN TOL
MOJOKERTO-KERTOSONO

Nama dan NRP Mahasiswa
Aisyah Amelia
3113 100 028

Dosen Pembimbing
Dr.techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc.
Ir. Bambang Sarwono, M.Sc.

Lembar
1

Jumlah
2



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

Nama Gambar
POTONGAN MELINTANG
JEMBATAN

Nama dan NRP Mahasiswa
Aisyah Amelia
3113 100 028

Dosen Pembimbing
Dr.techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc.
Ir. Bambang Sarwono, M.Sc.

Lembar
2

Jumlah
2



Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)
Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukotilo, Surabaya 60111
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Dr. techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc. / Ir. Bambang S., M.Sc.
NAMA MAHASISWA	: Aisyah Amelia
NRP	: 3113100028
JUDUL TUGAS AKHIR	: STUDI KAPASITAS ANGKUT DAN GERUSAN LOKAL PADA PENAMPANG SUNGAI BRANTAS AGIBAT ALAR JEMBATAN
TANGGAL PROPOSAL	:
NO. SP-MMTA	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	23/05/2017	mempelajari local scouring dan program simulasi	-memagukan geometri penampang -analisa local scouring dan total scouring	
2.	9/4/2017		-perbaikan geometri penampang dengan penambahan levee	
3.	24/2017/5	-perbaikan geometri	- analisa sedimen transport pada profil memanjang sungai	
4.	16/2017/6		- permodelan quasi-unsteady dengan debit rata-rata bulanan - perhitungan analitik angkutan sedimen.	
5.	19/2017/6		- scouring bekerja pada pile group - total scouring dari hasil contraction, local scour dan degradasi dasar penampang-	

BIODATA PENULIS



Aisyah Amelia

Penulis dilahirkan di Banjarmasin, 20 Juni 1996, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Pengambangan 5 (Banjarmasin), SMPN 7 (Banjarmasin), SMAN 1 (Banjarmasin). Setelah lulus sekolah menengah atas pada tahun 2013, penulis mengikuti SNMPTN jalur Bidikmisi yang diselenggarakan oleh Kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi (Kemenristekdikti) dan diterima pada Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Penulis terdaftar dengan NRP 3113100028. Selama berkuliah di ITS penulis pernah aktif sebagai panitia lomba beton pada Civil Expo ITS 2016 dan pernah menjadi finalis dalam lomba inovasi beton ringan yang diselenggarakan di Universitas Udayana. Karena daerah asal penulis yang dikenal sebagai Kota seribu sungai, maka dari itu penulis mempunyai ketertarikan untuk mengambil bidang hidroteknik umumnya yang berkaitan dengan sungai, khususnya angkutan sedimen dan gerusan sebagai topik tugas akhir. Bagi pembaca yang ingin berdiskusi dengan penulis, dapat menghubungi penulis melalui *e-mail* aisyahamelia96@gmail.com.